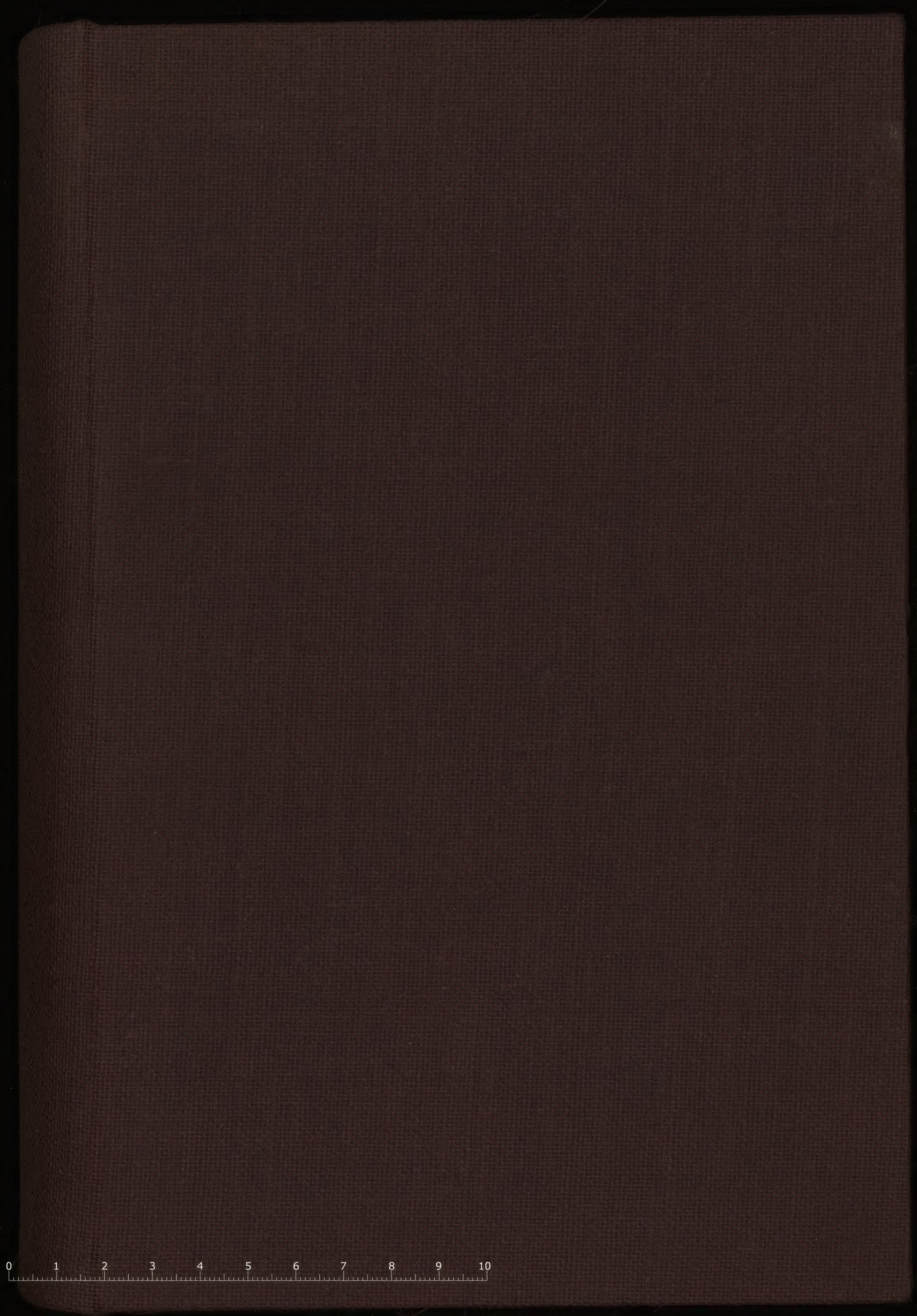
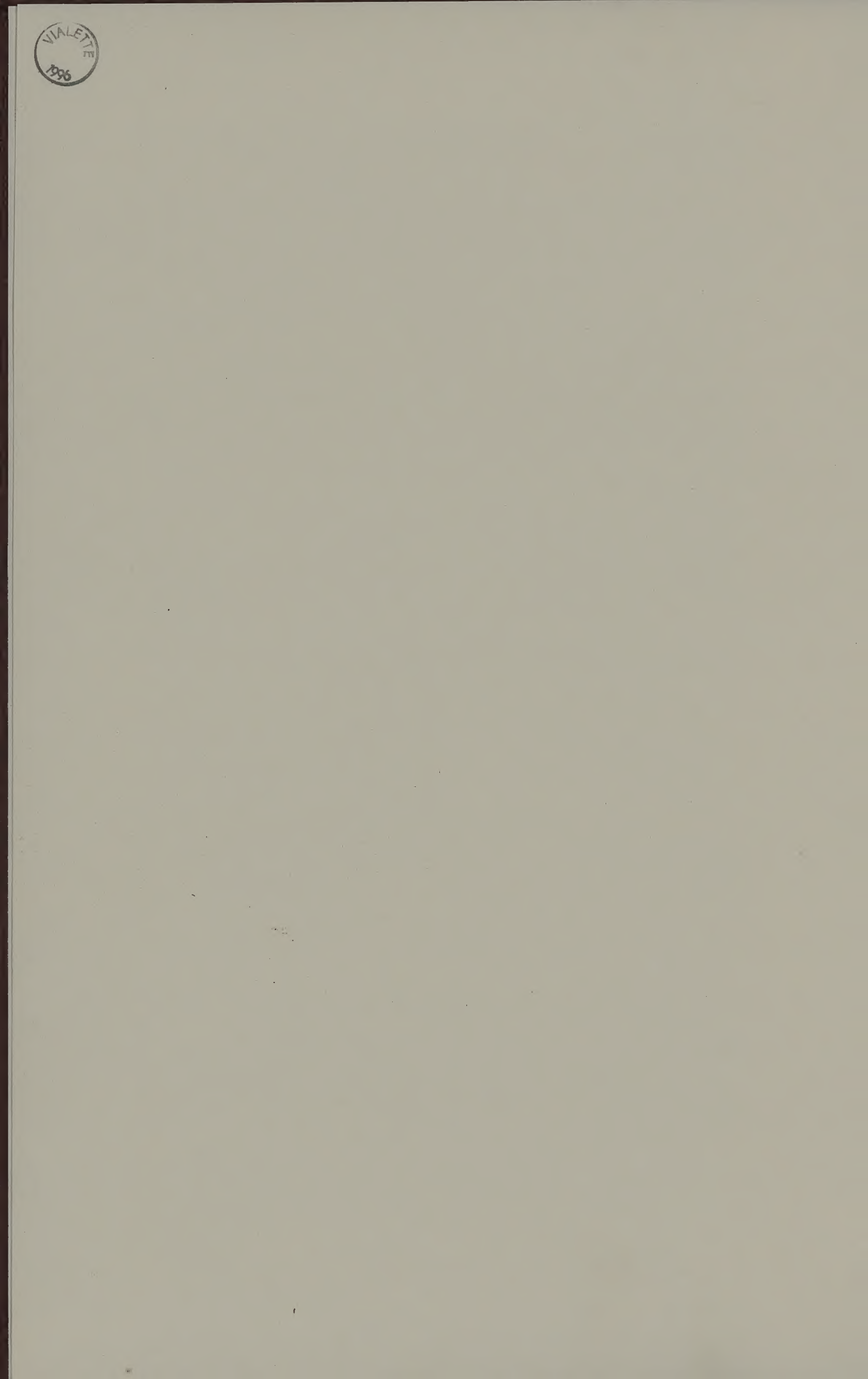



VIALETTE
1996

TRAITÉ

DE

RADIOLOGIE MÉDICALE

PUBLIÉ SOUS LA DIRECTION DE

CH. BOUCHARD

Membre de l'Institut

Professeur de pathologie générale à la Faculté de médecine

PAR MM.

Béclère (de Paris). — **Bergonié** (de Bordeaux). — **Bertin-Sans** (de Montpellier).
Bordier (de Lyon). — **Bouchacourt** (de Paris).
André Broca (de Paris). — **Cluzet** (de Toulouse). — **Fabre** (de Lyon).
Gagnière (de Montpellier). — **Guilleminot** (de Paris).
Guilloz (de Nancy). — **Imbert** (de Montpellier). — **Leduc** (de Nantes).
Le Noir (de Paris). — **Marie** (de Toulouse).
Mignon (de Nice). — **Maunoury** (de Chartres). — **Oudin** (de Paris).
Ribaut (de Toulouse). — **Ruault** (de Paris).
Sagnac (de Lille). — **Scheier** (de Berlin). — **Villard** (de Paris). — **Weiss** (de Paris).

Secrétaire de la Rédaction : **H. GUILLEMINOT**

Avec 356 figures et 7 planches hors-texte

PARIS

G. STEINHEIL, ÉDITEUR

2, RUE CASIMIR-DELAVIGNE, 2

MCMIV

PRÉFACE

La science de la vie est tributaire de la mécanique, de la physique, de la chimie. Il est difficile de juger par un coup d'œil rétrospectif, quelle est, de ces trois sciences, celle qui, dans une période déterminée de l'histoire, a le plus contribué au progrès des connaissances biologiques. Il est bien plus difficile — et c'est une vanité — de prédire, pour une période à venir, à laquelle de ces sources vont puiser de préférence la physiologie et la médecine. On a dit cependant, et ce présage n'a pas été contredit, que, dans le siècle qui commence, la physique, plus peut-être que la chimie, est destinée à éclairer les phénomènes de la vie; j'entends la physique dans cette partie de son domaine où elle confine d'ailleurs à la chimie.

Ce n'est pas seulement parce que la physique a pris un essor nouveau avec la découverte de toute cette série de radiations qui, depuis Crookes jusqu'à Röntgen et enfin jusqu'à Becquerel, tendent à modifier notre conception de la matière et notre manière d'envisager les forces.

Ce n'est pas seulement parce que l'introduction de l'exploration par les rayons X a rendu à la chirurgie et surtout à la médecine des services incomparables.

C'est surtout, peut-être, parce que l'exploration à l'aide de ces rayons pose aux yeux du médecin qui sait observer des questions imprévues qui réclament et qui auront leur réponse.

Pour un observateur superficiel, il semblera peut-être que c'est dans la grande hâte et la grande curiosité provoquées par l'annonce de la découverte de Röntgen que se sont faites ses principales et ses plus

nombreuses applications et que, pour ne parler que de la médecine, au bout d'un an on en avait tiré tout ce qu'on en pouvait attendre.

Le diagnostic chirurgical et médical par les rayons X s'est fait, sans doute, presque d'un seul jet; mais la détermination du siège exact, la position dans l'espace de l'organe ou de la lésion ne s'est faite que plus tard. Plus tard aussi sont venues les applications à la physiologie des mouvements, des poumons et du cœur. Plus tard, l'application des rayons X à l'embryologie, qui a fait de ce mode d'exploration une méthode de choix, grâce à laquelle on prend connaissance de l'objet sans l'altérer, sans le détruire, comme le faisait nécessairement le procédé microtomique. Cette méthode trouve son emploi sur le vivant pour l'étude des points d'ossification.

Les questions imprévues dont je parlais plus haut ont un bien plus grand intérêt. Deux individus se succèdent dans une même séance, devant l'écran fluorescent. Ils ont même corpulence, et pourtant leurs organes, qui ont même épaisseur, arrêtent inégalement les rayons. Cette différence d'action physique dépend sans doute de différences chimiques dans la constitution des tissus. Ces différences qui sont si frappantes, on les mesurera, on appréciera leurs qualités, elles seront un jour révélatrices de la constitution et de la nutrition.

La peau, les tissus profonds, après une application des rayons X présentent parfois des altérations tardives, irritatives ou nécrosiques. On les a comparées à l'image que les mêmes rayons dessinent sur la plaque photographique. On ne pensait pas si bien dire. Les rayons X, ne décomposent pas le bromure d'argent, ils l'impressionnent, ils lui impriment une direction suivant laquelle se fera la décomposition quand interviendra la condition révélatrice qui développera l'image jusqu'alors latente. De même sur la peau vivante, ces rayons ne produisent pas une action chimique actuelle, une brûlure. Leur action est encore latente ; et pendant un temps parfois considérable, elle ne semble ni entraver, ni modifier le fonctionnement normal. Mais que survienne la circonstance révélatrice, l'activité cellulaire qui a reçu une direction agira dans le sens pathologique. Dans le sens pathologique aujourd'hui, demain peut-être dans le sens thérapeutique.

La radiologie n'a donc pas dit son dernier mot, et ce traité arrive, je crois, à l'heure propice. Il fixe ce qui est acquis ; il prépare la marche dans les voies nouvelles, grâce au concours d'hommes émi-

nents dans diverses branches de la science. C'est à eux que vont mes remerciements ; ils ont accompli l'œuvre commune en consentant à mettre leur savoir à la portée de tous et en limitant leurs contributions suivant le plan général de l'ouvrage.

Ce livre se présente aujourd'hui dans son unité tel qu'il a été conçu et tel qu'il a été maintenu par M. Guilleminot.

M. Steinheil, pour les soins dont il a entouré sa publication, et pour les sacrifices qu'il s'est imposés, a doublement droit au succès.

BOUCHARD.

Paris, le 1er Août 1903.

HISTORIQUE

S'il est, en Physique, une question qui ne paraissait pas devoir intéresser jamais la pratique médicale, c'est bien celle de la décharge dans les gaz raréfiés. C'est cependant de l'étude de cette question qu'a inopinément surgi, après de multiples et laborieuses recherches, la découverte sensationnelle de ce que le professeur Röntgen a sagement appelé *rayons X*, et qu'il est juste de nommer aussi *rayons de Röntgen.*

Cette question de la décharge dans les gaz raréfiés présentait, en effet, un intérêt toujours plus exclusivement théorique, au fur et à mesure que l'étude en était poursuivie. Il en était ainsi encore au mois de décembre de l'année 1895, lorsqu'une circonstance fortuite révéla au sagace physicien de Wurtzbourg, sous les yeux duquel elle se produisit, l'existence de ce quelque chose, dont la nature est restée problématique, mais d'où l'on a cependant pu tirer le merveilleux et fécond procédé d'investigation médicale qui constitue la Radiographie et la Radioscopie. Il a donc été possible, en un temps d'ailleurs très court, de porter à un haut degré de perfection la technique de l'utilisation des rayons X, avant que l'on ait pu déterminer, avec quelque certitude, la place de ces rayons dans l'ensemble des phénomènes physiques; mais c'est là une bizarrerie dont on ne s'étonne plus lorsqu'il s'agit de cet agent, encore mystérieux dans son essence, que l'on désigne sous le nom d'électricité.

Il faut remonter jusque vers le milieu du siècle dernier, si l'on veut retrouver les premières observations relatives au phénomène de la décharge dans les gaz raréfiés. Ayant fait éclater l'étincelle de décharge d'une machine électrique à frottement à l'intérieur d'un œuf électrique, globe de verre dans lequel on pouvait faire progressivement le vide, l'abbé Nollet vit le trait de feu, par lequel s'opérait la décharge aux pressions voisines de la pression atmosphérique, s'étaler peu à peu, à mesure que cette pression diminuait.

« Telle est l'expérience simple et charmante qui, après avoir fait la joie des dilettanti de la Physique, a conduit finalement à ces fameux rayons doués de propriétés si curieuses ; mais la route a été longue (1). »

Nous allons en faire connaître les principales étapes.

(1) Cornu, *Discours à l'Ac. des sc.*, 21 décembre 1896.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer tout d'abord que le dispositif, grâce auquel on actionne aujourd'hui les puissants tubes à rayons X actuellement en usage, est identique au fond à celui de l'abbé Nollet. Sans doute le générateur électrique est maintenant une puissante machine à influence, à plateaux multiples, ou l'une de ces bobines d'induction, de construction courante, pouvant donner une étincelle de 30, 40, 50... centimètres, tous appareils capables de réaliser, entre leurs bornes, une différence de potentiel beaucoup plus grande que celle que fournissaient les anciennes machines à frottement ; les boules, entre lesquelles on faisait autrefois éclater la décharge, sont remplacées, l'une, à la cathode, par une calotte sphérique en aluminium, l'autre, à l'anode, par une lame de platine tantôt plane, tantôt façonnée en capuchon, etc. ; le vide, dans nos tubes actuels à rayons X, est, d'autre part, poussé incomparablement plus loin que dans l'œuf électrique primitif de l'abbé Nollet. Mais le dispositif comprend toujours, comme parties essentielles, un générateur d'électricité et un espace clos, presque vide de gaz, à l'intérieur duquel se produit la décharge du générateur.

Les premières expériences, instituées en vue de recherches réellement scientifiques sur la décharge dans les gaz raréfiés, permirent de préciser les caractères du phénomène sommairement décrit par l'abbé Nollet.

A mesure que la pression gazeuse diminue, les étincelles qui éclatent entre les boules réunies aux deux pôles du générateur diminuent d'éclat, en même temps qu'elles augmentent de fréquence. Vers la pression de 5 à 6 centimètres de mercure, les étincelles se sont progressivement transformées en aigrettes chevelues qui sillonnent, sans discontinuité apparente, l'espace compris entre les deux boules ; puis, si le gaz intérieur a été suffisamment raréfié, les aigrettes elles-mêmes se transforment en lueurs, d'une continuité apparente parfaite, qui entourent chaque boule, sont séparées l'une de l'autre par un intervalle obscur et offrent des couleurs variables avec la nature du gaz au sein duquel le phénomène se produit. Ces transformations successives sont d'ailleurs évidemment en rapport avec la décroissance des charges électriques que les boules peuvent recevoir à mesure que la pression du gaz ambiant diminue, c'est-à-dire avec la déperdition électrique croissante que subissent, dans ces conditions de pression ambiante, les corps électrisés.

En 1843, ayant poussé le vide jusqu'à 1 ou 2 millimètres de mercure dans un œuf électrique réuni à une bobine d'induction, Abria (1) vit le phénomène de la décharge présenter un nouvel aspect. La lueur s'étendait de la boule positive jusqu'à une certaine distance de la boule négative, en avant de laquelle régnait un espace sombre, déjà signalé par Faraday (2). C'est sur toute l'étendue de la lueur partie de la boule positive qu'Abria, le premier, observa des stries alternativement brillantes et obscures.

(1) Abria, *Ann. de Ch. et de Ph.*, 3e série, t. VII, 1843.
(2) Faraday, *Expérimental Researches*, 13e série, 1838.

Gassiot (1), Spotiswode (2), Fernet (3), étudièrent avec soin ce phénomène de stratification en le dissociant par réflexion dans un miroir tournant, et constatèrent, entre autres faits, que ces strates existent déjà pour une pression de 5 à 6 millimètres de mercure, bien que l'observation directe n'en révèle alors nullement la présence.

Hittorf (4), d'autre part, au cours de recherches étendues sur la décharge dans les gaz raréfiés, a rendu plus nettes ces stratifications en disposant un condensateur en dérivation sur le circuit de décharge. Un rapport apparaît ainsi entre la formation des strates et une discontinuité de la décharge ; dans un circuit sans condensateur dérivé, Hittorf attribue d'ailleurs la discontinuité à un trop faible débit du générateur.

On sait avec quelle ingéniosité Geissler d'abord, bien d'autres constructeurs ensuite, ont compliqué la forme des tubes à décharge et varié la nature des gaz intérieurs pour présenter sous des aspects plus saisissants les phénomènes lumineux que nous venons de rappeler.

D'autre part, Davy avait déjà constaté, en 1821, que la décharge, sous forme d'arc, est sensible à l'action de l'aimant, et de La Rive avait montré, en 1849, au moyen d'une ingénieuse expérience, qu'il en est ainsi encore pour la décharge qui s'effectue dans le gaz raréfié de l'œuf électrique.

Or ce phénomène, qui persiste dans les conditions de raréfaction plus grande où ont expérimenté plus tard Hittorf, Crookes, Goldstein, Hertz, Lenard, etc., constituera alors un fait important en faveur de l'une et à l'encontre de l'autre des deux théories qui se trouveront bientôt en présence. L'étude méthodique de ce caractère de la décharge aurait d'ailleurs certainement conduit dans un avenir prochain à la séparation des rayons X, si une circonstance fortuite n'avait hâté la découverte de ces singuliers rayons ; ce même caractère a, d'autre part, été utilisé, dans les premiers temps de la radiographie pour augmenter l'intensité d'impression de la plaque sensible. Pour ces diverses raisons, il y avait lieu de signaler dès maintenant cette action de l'aimant dont nous aurons à reparler plus loin.

Pendant cette première période, les recherches, bien que toujours poursuivies dans l'espoir « de découvrir le mécanisme de la décharge, c'est-à-dire de résoudre le grand problème de la propagation de l'électricité », avaient revêtu un caractère presque exclusivement descriptif. Avec Hittorf, Crookes, Goldstein, etc., des essais de théorie sont tentés et des discussions commencent qui se poursuivent aujourd'hui encore.

C'est Hittorf (5) qui, le premier, étudie les caractères de la décharge

(1) Gassiot, *Proceed. of the roy. Soc.*, t. X, 1859-1860.
(2) Spotiswode, *Proceed. of the roy. Soc.*, t. XXIII et t. XXV, 1875 et 1876.
(3) Fernet, *C. R. Ac. des sc.*, 1880.
(4) Hittorf, *Ann. de Poggendorf*, t. CXXXVI, 1869.
(5) Hittorf, *Ann. de Poggendorf*, 1869 ; *Jubelaud*, 1874 ; *Ann. de Wiedemann* 1879 et 1883.

dans les gaz très raréfiés ; Goldstein (1) poursuit bientôt des recherches sur le même sujet, et, vers la même époque, Crookes (2) pousse la raréfaction jusqu'à quelques millionièmes d'atmosphère, en même temps qu'il donne aux expériences les formes si ingénieuses, si variées et si saisissantes, sous lesquelles elles sont surtout connues aujourd'hui. L'œuf électrique primitif, qui, déjà pour l'étude des stratifications, avait subi de profondes modifications, est complètement transformé et réduit à une ampoule de verre, de forme d'ailleurs variable suivant le caractère de la décharge qui doit être mis en évidence ; les boules entre lesquelles s'opérait la décharge sont remplacées par de simples fils de platine ou par des lames d'aluminium planes, sphériques, cylindriques, etc.

Dans les conditions de pression où se poursuivent les nouvelles expériences, les phénomènes lumineux, en quelque sorte directs, qui accompagnent la décharge, disparaissent et sont remplacés par d'autres, que l'on peut qualifier de secondaires. En effet, en outre de l'espace sombre déjà constaté par Faraday et dont il a été question plus haut, on observe, au voisinage immédiat de la cathode, un intervalle obscur limité, d'une part, à cette cathode, d'autre part, à une gaine lumineuse voisine. L'étendue de cet intervalle augmente, à mesure que la pression du gaz intérieur diminue, et finit par occuper tout l'espace compris entre la cathode et la paroi opposée ou anticathodique de l'ampoule, lorsque le vide a été poussé assez loin et que l'anode est disposée latéralement.

La lumière, qui accompagne alors la décharge à travers le gaz raréfié, n'est plus due directement en quelque sorte à la décharge, mais résulte de la phosphorescence du verre dans la région anticathodique.

Hittorf avait reconnu déjà que, dans l'intervalle obscur dont il vient d'être question, une propagation de l'électricité s'opère suivant des trajectoires rectilignes. Crookes attribua pour support à l'électricité transportée les molécules matérielles gazeuses que le tube contient encore et constitua ce que l'on a appelé la *théorie du bombardement*, théorie dont voici les points essentiels.

Au degré de raréfaction alors atteint, les molécules gazeuses sont indépendantes les unes des autres; elles peuvent, sans se choquer mutuellement, parcourir des trajectoires rectilignes de longueur finie, et l'étendue de l'intervalle obscur, qui entoure la cathode, représente le parcours libre moyen que les molécules peuvent effectuer dans les conditions de pression actuellement réalisées. Comme, d'autre part, la décharge, ainsi que Masson l'avait déjà constaté, ne s'effectue pas dans le vide le plus parfait qu'il nous soit possible de réaliser, on est conduit à penser que cette décharge s'opère par

(1) GOLDSTEIN, Mémoire d'ensemble : *Monatsberichte* (Acad. de Berlin), 1880, et *Journ. de phys.*, 1re série, t. X.

(2) CROOKES, Nombreuses publications dans *Philos. Trans*, 1879; *Proceed. of the roy. Soc.*, 1880; *C. R. Acad. des sc.*, etc.

l'intermédiaire des molécules gazeuses que le tube contient encore. La décharge doit dès lors être un phénomène de convection électrique : les molécules gazeuses viennent se charger négativement à la cathode, sont alors repoussées, et vont, dans leur liberté et leur indépendance dues à leur petit nombre, choquer, en parcourant des trajectoires rectilignes, la paroi anticathodique opposée dont elles déterminent la fluorescence par action mécanique.

Crookes voit autant de confirmations de l'exactitude de sa théorie dans les expériences suivantes.

Avec un tube, à l'intérieur duquel un écran métallique a été disposé perpendiculairement au trajet rectiligne des molécules repoussées normalement par la cathode, on voit, sur la région anticathodique de la paroi, une ombre géométrique de l'écran, les parties plus périphériques de la paroi étant d'ailleurs fluorescentes comme à l'ordinaire ; cette région d'ombre, en outre, s'illumine à son tour, si l'on fait basculer l'écran, mobile à cet effet autour d'une charnière.

Un moulinet, disposé à l'intérieur d'un tube et dont les ailettes viennent, pendant la rotation et chacune à leur tour, se placer normalement aux trajectoires rectilignes attribuées aux molécules repoussées par la cathode, se met en mouvement dès que le tube est actionné ; le sens du mouvement est d'ailleurs celui qui résulterait de chocs suivant la direction des molécules repoussées.

Si, au moyen d'une cathode concave, on fait converger les trajectoires des molécules en un foyer où se trouve une lame de platine, celle-ci rougit et peut même être fondue dans la région focale, phénomène qui, pour Crookes, est dû à une transformation directe de l'énergie cinétique des molécules en chaleur.

Enfin, si la direction des trajectoires des molécules, repoussées par la cathode, est modifiée par la présence d'un aimant, comme le montre en effet l'expérience, cela tient, d'après Crookes, à ce que ces molécules en mouvement, et électrisées d'abord par la cathode, sont assimilables, ainsi que le pense Rowland, à un courant, et doivent, comme celui-ci, être sensibles à l'action d'un champ magnétique.

Ajoutons dès maintenant que cette convection de l'électricité négative, base de la théorie du bombardement, a été constatée dans une ingénieuse expérience réalisée, depuis la découverte des rayons X, par Perrin, qui a pu mettre également en évidence le déplacement concomitant de masses positives, conformément au principe de la conservation de l'électricité.

Mais, bien que les phénomènes découverts par Crookes aient pu, comme on vient de le voir pour quelques-uns d'entre eux, recevoir une explication plausible, la théorie du bombardement a été l'objet, de la part des physiciens allemands, d'objections de divers ordres. Cette théorie paraît en contradiction, en effet, d'une part avec la théorie cinétique du gaz, d'autre part avec certaines expériences dont nous parlerons plus loin et qui sont relatives

à la transparence de l'aluminium, par exemple, pour ce quelque chose qui part de la cathode et que l'on nommera bientôt *rayons cathodiques*.

En outre, Goldstein et ses compatriotes inclinent à penser que les phénomènes de la décharge dans les gaz sont de la catégorie des phénomènes vibratoires, et E. Wiedeman émet explicitement l'hypothèse que ce qui part de la cathode et qu'il nomme *rayon cathodique* est constitué par une vibration de très petite longueur d'onde.

Mais cette hypothèse, comme celle de Crookes, est passible d'objections. Si, en effet, il est difficile, par exemple, de concevoir que les molécules gazeuses puissent traverser une lame d'aluminium, comme on serait conduit à l'admettre pour interpréter, dans la théorie du bombardement, une expérience de Hertz sur laquelle nous allons revenir, on ne peut pas concevoir davantage que les rayons cathodiques, s'ils sont constitués par un mouvement vibratoire de l'éther, puissent être sensibles à l'action d'un champ magnétique.

Les deux théories en présence semblent ainsi renversées l'une et l'autre par l'expérience. Aussi, songe-t-on, d'une part, à substituer aux vibrations transversales de l'éther, invoquées d'abord, les vibrations longitudinales, dont les propriétés, encore inconnues, ne sont plus dès lors en contradiction à priori avec aucun fait expérimental, tandis que, de l'autre, on reporte à des ions, rendus libres par une dissociation du gaz intérieur à l'ampoule, les effets attribués d'abord aux molécules ; comme, d'ailleurs, l'on connaît des phénomènes de passage d'ions à travers des corps solides, la principale objection faite à la théorie du bombardement moléculaire n'existe plus.

Des deux modifications introduites ainsi dans les hypothèses primitives, la seconde, due à J.-J. Thomson, paraît, actuellement du moins, plus heureuse que la première. Ce n'est pas que la théorie certaine des phénomènes puisse être dès maintenant donnée; mais il semble du moins que la conception primitive de Crookes, modifiée, comme nous venons de le dire, par J.-J. Thomson, s'adapte mieux à l'ensemble des phénomènes, qui sont engendrés par les rayons cathodiques et dont on poursuit encore l'étude.

Ce n'est pas ici le lieu, d'ailleurs, de pénétrer plus avant dans la discussion de ces hypothèses. Il était bon sans doute de faire connaître sommairement sous l'empire de quelles idées théoriques se sont poursuivies les recherches dont il nous reste à rendre compte ; mais l'influence de ces idées sur les recherches ultérieures a été trop faible, pour que nous ne nous bornions pas, dans ce qui suit, à l'exposé des faits nouveaux d'expérience qui ont amené la découverte des rayons X. Cet exposé devrait comprendre, d'ailleurs, l'analyse de nombreux et importants travaux, s'il s'agissait ici de résumer les recherches effectuées en vue de l'étude de la décharge au sein des gaz raréfiés ; mais dans un historique de la découverte des rayons X, en tête d'un traité de Radiologie médicale, il suffira, au risque de passer sous silence les noms de physiciens éminents, d'énumérer les faits qui ont plus directement conduit à cette découverte.

Crookes et Goldstein avaient observé de nombreux phénomènes de fluorescence déterminés par les rayons cathodiques sur divers corps, et Goldstein avait constaté des faits singuliers et inattendus de transparence et d'absorption, lorsque diverses substances sont placées sur le trajet de ces mêmes rayons.

Ayant disposé, à l'intérieur d'une ampoule, un verre d'urane dont la face tournée vers la cathode était recouverte d'une mince lame d'aluminium, Hertz vit le verre d'urane devenir fluorescent lorsque l'ampoule était actionnée ; au contraire, le verre d'urane demeurait inerte et obscur derrière une lame de mica.

Cette transparence de l'aluminium pour les rayons cathodiques, fait que nous avons dit avoir été invoqué pour battre en brèche la théorie de Crookes, présente un très grand intérêt au point de vue de l'étude expérimentale des propriétés de ces rayons. Elle a permis, en effet, à Lenard, d'amener ces rayons en dehors de leur lieu de production, en les faisant sortir de l'ampoule à travers une fenêtre, ménagée dans la région anticathodique du verre de la paroi et obturée par une mince lame du métal transparent ; les propriétés des rayons cathodiques ont pu dès lors être plus complètement et plus facilement étudiées.

Lenard constata ainsi qu'un grand nombre de corps deviennent fluorescents dans l'air, comme dans le vide de l'ampoule, lorsqu'ils sont frappés par les rayons cathodiques. Une plaque photographique d'autre part est impressionnée dans l'air par ces rayons, de même qu'elle est impressionnée dans le tube à décharge, ainsi que Golsdtein l'avait observé antérieurement. Ces mêmes rayons se sont encore révélés comme possédant la propriété, que l'on avait déjà constatée pour la lumière très réfrangible, de décharger les corps électrisés ; ils se propagent après leur sortie de l'ampoule, dans le vide le plus parfait qu'il soit possible de réaliser, tandis qu'ils ne peuvent prendre naissance, nous l'avons déjà fait remarquer, au-dessous d'une certaine pression.

D'autres faits d'expériences, en outre, conduisaient à croire que ce qui sort de l'ampoule vient, en partie au moins, d'une région d'émission située sur la fenêtre métallique elle-même, si bien que, si l'étude du phénomène est rendue plus facile par l'utilisation de la transparence de l'aluminium, le phénomène semble, d'autre part, se compliquer par l'apparition de quelque chose de nouveau.

Un dernier fait, constaté par Lenard, fournit une nouvelle preuve de la complexité du faisceau amené hors de l'ampoule. En approchant un aimant du faisceau qui se propage au delà de la fenêtre métallique, et disposant à quelque distance une plaque photographique, le physicien allemand constata qu'une partie seulement du faisceau était déviée, tandis que la direction d'une autre portion n'était nullement influencée par la présence du champ magnétique. Il y avait donc, dans ce faisceau, quelque chose de nouveau, de nouveaux rayons, dirons-nous, mais sans attacher à ce mot aucune idée précise quant à la nature du phénomène.

La seconde portion du faisceau, celle sur laquelle le champ magnétique n'exerce aucune influence, était constituée, on le comprend aujourd'hui, par des rayons X, et la découverte des diverses propriétés de ces rayons eût dès lors été certainement faite dans un avenir plus ou moins prochain. L'existence de ces mêmes rayons paraît, en outre, avoir été antérieurement entrevue par Goldstein et surtout par Wiedemann.

Mais il était réservé au professeur Röntgen de réaliser, dans des conditions beaucoup plus simples, l'isolement en quelque sorte spontané de ces rayons et de reconnaître celle de leurs propriétés qui, d'un faible intérêt au point de vue théorique, a fourni aux sciences médicales un nouveau et merveilleux procédé d'exploration sûre et précise. Un fragment d'écran fluorescent, qui se trouvait par hasard sur la table d'expérience où le physicien de Wurtzbourg actionnait une ampoule ordinaire, sans fenêtre métallique, incluse dans une boîte en carton, a été la circonstance fortuite qui a avancé l'époque de la découverte des rayons X ; mais il est heureux, pour la foule de ceux qui, depuis le mois de janvier 1896, ont profité de la retentissante découverte, que cette circonstance fortuite se soit produite sous les yeux du perspicace physicien de Wurtzbourg.

Le mémoire dans lequel le professeur Röntgen a fait connaître sa découverte à la Société physico-médicale de Wurtzbourg (1), dans une séance du mois de décembre 1895, constitue désormais une page mémorable de l'histoire des sciences ; nous en reproduisons ici, d'après la *Revue générale des sciences*, la partie qui contient plus spécialement le principe de la radiographie et de la radioscopie médicales.

« 1. La décharge d'une grosse bobine d'induction traverse un tube à vide de Hittorf, ou un tube de Lenard ou de Crookes dont le vide a été poussé très loin. Le tube est entouré d'un écran de papier noir qui s'y adapte exactement ; on peut alors constater, dans une salle où l'obscurité est complète, qu'un papier, dont une face est recouverte de platino-cyanure de baryum, présente une fluorescence brillante quand on l'amène au voisinage du tube, quelle que soit la face du papier qui regarde le tube. La fluorescence est encore visible à 2 mètres de distance.

« Il est facile de montrer que la cause de la fluorescence réside dans le tube à vide.

« 2. On voit donc qu'il existe un agent capable de pénétrer une plaque de carton noir, absolument opaque pour les rayons ultra-violets, pour la lumière de l'arc ou celle du soleil. Il est intéressant de rechercher si d'autres corps se laissent pénétrer par le même agent. On montre facilement que tous les corps présentent la même propriété, mais à des degrés très différents. Par exemple, le papier est très transparent ; l'écran fluorescent s'illumine quand on le place derrière un livre de mille pages.....

(1) W. Röntgen, *Sitzungsberichte der Wurtzburger physikalisch-medicinischen Gesellschaft*, décembre 1895.

. . . .

... Si l'on tient la main devant l'écran fluorescent, les os projettent une ombre foncée et les tissus qui les entourent ne se dessinent que très légèrement.....

« 6. La fluorescence du platino-cyanure de baryum n'est pas la seule action des rayons X qu'on puisse observer. Il est à remarquer que d'autres corps présentent la fluorescence, parmi lesquels le sulfure de calcium, le verre d'urane, le spath d'Islande, le sel gemme, etc.

« Dans cet ordre d'idées, un fait particulièrement intéressant est la sensibilité des plaques photographiques sèches pour les rayons X. On peut ainsi mettre en évidence les phénomènes, en excluant tout danger d'erreur. J'ai confirmé de la sorte beaucoup d'observations faites d'abord en regardant l'écran fluorescent.....

. . . .

« 14. L'appellation de « rayons », donnée au phénomène, se justifie en partie par les silhouettes régulières qu'on obtient en interposant un corps plus ou moins perméable entre la source et une plaque photographique ou un écran fluorescent.

« J'ai observé et photographié un grand nombre de ces silhouettes... J'ai aussi l'ombre des os de la main... »

Le retentissement de cette découverte, aussitôt télégraphiée et câblée dans le monde entier, fut immense, et avant même que les journaux scientifiques pussent en publier la nouvelle, les journaux politiques fournirent sur le dispositif employé par Röntgen, des indications très sommaires, mais d'ailleurs suffisantes pour des physiciens, en raison de la simplicité des conditions expérimentales dans lesquelles les nouveaux rayons venaient de se révéler. Toutes les recherches en cours furent aussitôt suspendues dans tous les laboratoires de physique, dont les collections comprenaient les diverses parties du dispositif nécessaire pour répéter les merveilleuses expériences de Wurtzbourg, et toutes les activités furent, pour un temps, détournées vers la voie nouvelle. Et ce qui passionna à ce point les esprits, il faut le reconnaître, ce fut moins le nouveau progrès qui venait d'être réalisé dans l'étude de la décharge, que l'annonce d'un nouveau procédé d'investigation, aussi inattendu que précis, qui permettait d'obtenir une photographie du squelette intérieur de l'organisme et d'effectuer, sans danger comme sans douleur, une sorte d'autopsie de tout être vivant. Il y a d'ailleurs lieu de se féliciter de ce concours universel d'efforts, car, en quelques mois, purent ainsi être réalisés les progrès, grâce auxquels le nouveau procédé d'investigation a acquis les degrés de puissance et de précision qui l'ont rendu journellement utilisable dans la pratique médicale et ont permis la réalisation de toutes les espérances conçues au lendemain de la retentissante découverte.

C'est l'histoire sommaire de ces progrès que nous allons faire dans la seconde partie de cet historique, passant encore ici sous silence les recherches d'ordre purement scientifique.

Dès les premières radiographies obtenues par Röntgen, le squelette, moins transparent aux rayons X, apparaît en clair sur le cliché developpé et fixé, tandis que les tissus environnants, plus facilement traversés par ces mêmes rayons, permettent une impression plus énergique de la plaque dans les régions sous-jacentes et sont reproduits en sombre. Mais si l'on distingue le squelette intérieur, les contours en sont flous, et bien des indications que peuvent fournir les radiographies actuelles n'auraient pu être demandées à de tels clichés. C'est que les radiographies résultent, non pas d'images, mais d'ombres portées sur la plaque sensible, et que la surface d'émission des rayons X est fort étendue et égale à toute la surface du verre frappée par les rayons cathodiques, comme Röntgen l'avait nettement indiqué. On devait donc obtenir une netteté plus grande en limitant la surface d'émission. C'est ce que firent d'abord A. Imbert et H. Bertin-Sans, qui employèrent à cet effet une épaisse plaque de verre, opaque aux rayons X, percée d'une ouverture circulaire qu'ils disposaient en face de la région la plus active de la paroi anticathodique. L'augmentation de netteté ainsi obtenue était sans doute considérable, mais ce premier progrès n'était réalisé qu'au prix d'un inconvénient d'un autre ordre : avec une surface d'émission ainsi limitée, le temps de pose nécessaire était notablement accru. C'était l'époque, en effet, où l'on devait faire poser 15 minutes pour une main, 30 à 40 minutes pour un poignet, 1 heure pour un coude, et où les tubes générateurs de rayons X étaient trop peu puissants pour que l'on pût obtenir des clichés relatifs aux régions plus épaisses du corps.

Mais ces durées inacceptables de pose purent bientôt être considérablement réduites, soit en substituant aux cathodes planes les cathodes sphériques que Poincaré avait préconisées dès le lendemain même de la découverte des rayons X, soit en utilisant, comme le firent A. Imbert et H. Bertin-Sans, l'action qu'un aimant exerce sur les rayons cathodiques intérieurs pour réunir ces rayons cathodiques en une portion limitée de paroi, en face de l'ouverture du diaphragme, et rendre ainsi plus intense le faisceau de rayons X utilisés. Les temps de pose, très réduits ainsi pour les régions les plus minces du corps (une à deux minutes pour un poignet), étaient encore longs pour l'épaule, la cuisse, etc., et les tubes, malgré leur cathode concave ou l'action de l'aimant, étaient loin d'atteindre au degré de puissance nécessaire pour qu'il fût possible d'obtenir de bonnes radiographies des régions les plus épaisses du corps.

La substitution du trembleur à contact de mercure au trembleur de Neef à contact métallique augmenta encore, dans une certaine proportion, le rendement des tubes en rayons X, comme le constata Chappuis; toutefois, l'intensité du faisceau restait toujours trop faible pour que des clichés utiles pussent être obtenus à travers la tête ou l'abdomen.

Quelques expérimentateurs, d'autre part, préconisaient l'emploi d'un dispositif un peu différent et plus simple, consistant dans l'emploi d'une machine électro-statique à plateaux multiples aux lieu et place de la bobine

d'induction. Il ne semble pas toutefois que cette substitution ait été très heureuse et que l'emploi d'une machine électro-statique, même puissante, ait donné des résultats supérieurs, ou même simplement équivalents à ceux que permet d'obtenir une forte bobine de Ruhmkorff. Mais un avantage appréciable de ce dispositif résultait de ce que l'on fatiguait moins les tubes, car ils s'échauffaient moins qu'avec une bobine, moins surtout que lorsqu'on réalisait une condensation des rayons cathodiques par la forme concave de la cathode ou par l'action d'un aimant. Cette question de l'échauffement des tubes, qu'il n'y a plus à redouter aujourd'hui, a été l'une des grosses préoccupations du début, et des procédés divers, fréquents repos du tube, rotation du tube entre les branches de l'aimant, immersion dans l'eau, etc., ont été mis en usage pour y remédier.

Cette période de tâtonnements, marquée toutefois de quelques progrès réalisés par la seule utilisation de faits antérieurement connus, dura quelques mois. Mais bientôt des recherches étaient entreprises, dont on pouvait, à priori, espérer de bons résultats. On savait que des rayons X prennent naissance lorsque les rayons cathodiques rencontrent l'aluminium ou le verre ; il était possible que ces corps ne fussent pas les seuls à se comporter ainsi, dans ces conditions, et peut-être existait-il des substances capables de fournir un rendement supérieur à ceux du verre et de l'aluminium.

A la suite de recherches effectuées dans cette voie, S. P. Thomson annonça, au mois de juin 1896, que le platine était, de tous les corps examinés, celui qui, toutes choses égales d'ailleurs, donnait la plus intense émission de rayons X. Le physicien anglais faisait dès lors construire les tubes dits *focus* et réalisait, quant à la technique radiographique, un tel progrès, que le nouveau procédé d'investigation allait désormais être en état de fournir à peu près tous les renseignements que l'on peut raisonnablement lui demander, en tenant compte des propriétés connues des rayons utilisés.

Toutes les régions du corps, la tête et l'abdomen compris, peuvent désormais être utilement radiographiées, et, dans le cas d'os épais et spongieux, les rayons X reproduisent nettement sur le cliché la structure intérieure des couches osseuses les plus rapprochées de la plaque. On pourra désormais appliquer le procédé radiographique à la détermination stéréoscopique de la position de corps étrangers dans les tissus, comme à l'étude physiologique des mouvements qu'il sera même possible de reconstituer ensuite par la cinématographie, etc., toutes tentatives qui n'avaient pu qu'être timidement faites dans quelques cas particuliers.

En même temps, tout danger disparaît pour le sujet qui pose. Durant les premiers mois qui suivirent la découverte des rayons, l'on signalait de divers côtés des brûlures, douloureuses et à cicatrisation lente, survenues à la suite des longues poses, d'abord nécessaires malgré la faible distance à laquelle le tube à décharge était disposé. Or, grâce au rendement des tubes focus en rayons X, on pouvait du même coup diminuer le temps de pose et augmenter la distance des tubes au corps du malade, c'est-à-dire

supprimer les deux conditions dont la réalisation simultanée est nécessaire pour que des brûlures puissent être faites.

Depuis ce mois de mai 1896, date de la construction des premiers tubes focus, des progrès ont encore pu être réalisés au point de vue technique. Les constructeurs ont mis à notre disposition des bobines de construction plus parfaite. Les tubes générateurs de rayons X, de plus en plus puissants, sont, de leur côté, plus exactement adaptés à la bobine, ou à la machine électro-statique, qui doit les actionner ; l'adjonction au focus d'une masse d'eau ou d'une masse métallique qui empêche l'échauffement excessif et, par suite, l'usure et la mise hors d'usage de la lame de platine, l'ingénieuse disposition osmo-régulatrice de Villard et Chabaud, qui permet de régler, dans une certaine mesure, pendant la pose même et pour un certain temps, la pression intérieure et de régénérer ainsi temporairement un tube devenu trop résistant, constituent autant d'améliorations importantes apportées au dispositif expérimental. En outre, de la pratique déjà longue que l'on a acquise du maniement des tubes, sont résultées les règles suivant lesquelles ces tubes doivent être conduits, si l'on veut ménager leur durée et retirer de chacun d'eux le travail maximum. D'autre part, des posomètres spéciaux ont été imaginés qui permettent de mesurer, au cours même d'une opération radiographique, l'intensité du faisceau utilisé, et de régler ainsi avec sûreté la durée de pose nécessaire. Enfin, des trembleurs à mercure et autres ont été combinés, dont la marche est aussi assurée et régulière que l'était peu celle du trembleur de Foucault, et, le physicien allemand Wehnelt, utilisant une ancienne expérience de Planté, a fait connaître un trembleur fondé sur un principe différent et qui, grâce à ses interruptions rapides, s'adapte admirablement à la radioscopie dont il contribue à rendre plus sûres les précieuses indications.

Avec les puissantes ampoules génératrices de rayons X, que les constructeurs livrent couramment depuis plusieurs années, il n'est plus indispensable, en effet, pour utiliser en médecine les propriétés de ces rayons, d'accumuler, pendant un temps de pose plus ou moins long, leur action sur une plaque photographique ; même après son passage à travers une région épaisse du corps, le faisceau incident conserve encore une intensité suffisante pour illuminer un écran fluorescent et y projeter une ombre bien visible et dont l'étude peut être utilement faite, des parties diversement transparentes de la région traversée. On conçoit combien ce mode particulier d'emploi des rayons X, qui a reçu le nom de *Radioscopie*, s'adapte précisément aux cas où les épreuves radiographiques ne peuvent donner, à moins de dispositions sans doute ingénieuses mais complexes, que des ombres à bords flous et imprécis. C'est le cas des organes thoraciques, aux formes périodiquement variables, alors que de bons clichés ne peuvent être préparés que pour des objets dont l'immobilité est parfaite. Ce n'est pas, dès lors, s'illusionner que d'espérer beaucoup, au double point de vue physiologique et pathologique, de ce mode d'examen que le professeur Bouchard a le pre-

mier systématiquement employé dans son service hospitalier de la Charité.

La technique radiographique et radioscopique est donc dès maintenant en quelque sorte assez fixée, le nouveau procédé d'investigation est désormais assez puissant, les circonstances dans lesquelles il peut fournir à la pratique médicale un complément, tout au moins, d'indications précises sont assez nombreuses pour que de coûteuses installations aient été faites et des services radiographiques créés dans les hôpitaux de quelque importance. Une période d'activité réfléchie, peut-on dire, a par suite succédé depuis quelques années déjà, à la période d'activité fébrile qui a régné durant les premiers mois qui ont suivi la découverte des rayons X. Dût la technique demeurer désormais immuable et aucun progrès nouveau n'être réalisé à l'avenir, la fécondité du nouveau procédé d'investigation médicale est loin d'être épuisée et réduite à des renseignements à fournir sur chaque cas particulier. Plusieurs chapitres de pathologie et de physiologie devront, semble-t-il, être modifiés d'après les indications qu'a données déjà et que doit procurer encore l'emploi des rayons de Röntgen; peu de travaux de ce genre, il est vrai, ont dès maintenant été publiés, mais la raison doit en être cherchée, moins dans l'impuissance du procédé, que dans l'impossibilité de mettre efficacement en œuvre, dès aujourd'hui, des matériaux encore insuffisants dont le temps seul peut permettre d'augmenter le nombre.

En somme donc, le nouveau procédé d'investigation, avec sa technique et sa puissance actuelle, est fécond en renseignements. Mais d'autres progrès, dont on ne saurait, d'ailleurs, prévoir à l'avance l'importance ni la nature, seront un jour accomplis, lorsque les recherches, que l'on n'a pas cessé de poursuivre, nous auront fait pénétrer plus intimement dans la nature des rayons X.

La technique radiographique a même profité déjà, sur quelques points, des faits que ces recherches, d'ordre exclusivement scientifique, ont permis de constater, et mention doit être faite ici à ce sujet des travaux de Sagnac. Il résulte de ces travaux que tous les corps frappés par les rayons X sont capables d'émettre à leur tour, en proportion d'ailleurs variable d'un corps à l'autre, des rayons dit *secondaires* qui jouissent des propriétés générales des rayons de Röntgen, mais sont, beaucoup plus rapidement que ceux-ci, absorbés par les divers corps et en particulier par les gaz. Ces rayons secondaires provoquent, eux aussi, en rencontrant un corps, l'émission de nouveaux rayons, appelés *tertiaires*, encore plus absorbables par les gaz, et il est à présumer que ces rayons tertiaires provoquent de même l'émission de rayons *quaternaires*, dont on n'a pu, il est vrai, constater l'existence, probablement à cause de leur rapide absorption et de leur faible intensité. Or, c'est à l'action de rayons secondaires que l'on doit rapporter le voile général qu'accusent les plaques radiographiques à la suite de longues poses. Ces rayons secondaires proviennent d'ailleurs, pour une faible partie, des divers tissus de l'organisme traversés par les rayons X, et,

pour une proportion plus considérable, des corps sous-jacents à la plaque. Mais les rayons secondaires du plomb sont très rapidement absorbables par le papier noir, et en particulier par l'air qui les éteint complètement sous une épaisseur d'un petit nombre de millimètres ; de là l'avantage de la pratique, courante aujourd'hui, qui consiste à faire reposer la plaque radiographique, pendant la pose, sur une lame de plomb. On voit par cet exemple combien il est rationnel d'espérer que de nouveaux et probablement d'importants progrès techniques pourront un jour résulter des recherches qui se poursuivent dans une voie cependant essentiellement scientifique.

Il est permis de rapprocher de ces espérances légitimes, et déjà justifiées en partie, celles que peuvent faire naître des recherches entreprises dans une direction, qui paraît tout d'abord bien différente de celle d'où a surgi la découverte des rayons X, mais qui présente cependant avec celle-ci des points de contact de jour en jour plus nombreux.

Le fait de l'émission, par le verre rendu fluorescent de la région anticathodique d'un tube à vide, des rayons de Röntgen aux propriétés physiques si singulières et si inattendues, a, en effet, suscité en France des recherches complètement indépendantes de l'étude de la décharge dans les gaz raréfiés ; or il est résulté de ces recherches la découverte d'une catégorie nouvelle de rayons, découverte plus inattendue encore que celle des rayons X, car si ceux-ci avaient comme précurseurs les singuliers phénomènes déjà observés dans la décharge, rien n'avait encore pu faire soupçonner les rayons dont Becquerel a montré l'existence et précisé quelques propriétés.

Sans doute, l'intensité des rayons de Becquerel, dans toutes les circonstances où l'on a pu jusqu'à aujourd'hui constater leur émission, est beaucoup trop faible pour que l'on ait encore songé à les utiliser. Mais il s'agit là d'un phénomène nouveau, dont l'étude, qui paraît hérissée de difficultés, n'est commencée que depuis quelques années à peine, tandis que la découverte des rayons de Röntgen est comme la résultante des recherches poursuivies, presque sans relâche, pendant plus d'un demi-siècle. Il est permis par suite de se demander s'il ne sera pas possible de réaliser un jour un faisceau intense de ces rayons, et de les utiliser peut-être dans des conditions analogues à celles dans lesquelles les rayons X sont employés pour la Radiographie.

Ces rayons, en effet, dont H. Becquerel a constaté l'émission non seulement par l'uranium, mais encore par tous les composés dans lesquels entre ce métal, jouissent, comme les rayons de Röntgen, de la propriété de traverser les métaux, d'impressionner les plaques photographiques, de décharger les corps électrisés, de produire de douloureuses brûlures ; ils sont émis même sans exposition préalable du corps émettant à la lumière, et l'on en est dès lors à se demander à quelle source mystérieuse est puisée l'énergie qu'ils représentent.

M. et Mme Curie, d'autre part, ont constaté l'émission, par le thorium, d'un faisceau de rayons de Becquerel plus intense que le faisceau émis par

l'uranium. Cette faculté d'émission des nouveaux rayons, cette *radio-activité*, a été encore observée par les mêmes savants sur divers minéraux et a conduit, par une nouvelle et singulière voie, à admettre l'hypothèse, confirmée par l'analyse spectrale, de l'existence de deux corps simples nouveaux, le *polonium* et le *radium*, dont l'intensité d'émission serait environ 50.000 fois plus grande que celle de l'uranium et de ses composés. Debierne, de son côté, a annoncé l'existence d'un autre corps nouveau, l'actinium, à radio-activité très élevée.

Ce quelque chose émis par l'uranium, le radium, etc., forme d'ailleurs un faisceau complexe, qui présente tout au moins des analogies inattendues avec celui qui se propage au delà de la fenêtre en aluminium dans l'expérience de Lenard. Une partie de ce faisceau, en effet, est influencée par la présence d'un champ magnétique, tandis que ce même champ est sans action sur une autre portion de ce même faisceau.

Enfin, un dernier fait, constaté par M. et Mme Curie, conduit à établir plus que des analogies entre l'émission qui résulte de la décharge dans les gaz raréfiés et celle que l'on désigne sous le nom de radio-activité. Il paraît hors de doute, en effet, que les rayons émis par le thorium transportent de l'électricité, comme en transportent les rayons cathodiques, et c'est un nouveau sujet d'étonnement pour un physicien que cette émission, en quelque sorte spontanée, d'énergie électrique, alors que rien n'avait pu faire soupçonner encore la possibilité d'un semblable phénomène et que rien non plus, en l'état actuel de nos connaissances, ne nous permet de concevoir comment s'alimente cette source d'énergie.

Après ce court et sommaire résumé de l'état actuel d'une question à peine à l'étude, on ne saurait méconnaître l'extrême importance, au point de vue théorique, de la découverte de H. Becquerel et des travaux qu'elle a suscités. Il est du devoir de ceux qu'intéresse surtout l'étude des phénomènes biologiques, faite avec le secours des sciences physiques, de suivre d'un œil attentif les recherches entreprises dans cette direction. Il serait surprenant, croyons-nous, qu'ils n'eussent pas, dans la voie pratique où s'exerce plus spécialement leur activité, à utiliser un jour les découvertes nouvelles qui ne manqueront pas d'être réalisées.

H. Bertin-Sans,
Professeur agrégé
à la Faculté de Médecine de Montpellier.

A. Imbert,
Professeur de physique biologique
à la Faculté de Médecine de Montpellier.

LIVRE PREMIER

ÉTUDE GÉNÉRALE DES RAYONS X

PREMIÈRE PARTIE

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES SOURCES D'ÉLECTRICITÉ ET LES MESURES ÉLECTRIQUES

I. — SOURCES D'ÉLECTRICITÉ

GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE ET SUR SES DIFFÉRENTES SOURCES

Avant d'entrer dans les considérations que nécessite l'étude des sources d'électricité, il est utile que le lecteur possède une notion exacte des termes de courant électrique, d'énergie électrique qui reviendront si fréquemment dans le cours de cet ouvrage.

Chacun a pu remarquer que l'énergie électrique est toujours produite en un point différent de celui où elle est utilisée, ce dernier étant souvent à une très grande distance du premier ; l'appareil ou le système d'appareils qui est placé au premier point constitue la *source d'électricité*. L'énergie électrique une fois produite par la source est transmise à distance au moyen de fils, le plus souvent, mais quelquefois sans fils, au moyen de l'éther jusqu'à l'endroit où cette énergie doit être utilisée et où elle est transformée en une autre forme de l'énergie.

Un exemple du premier cas nous est offert par les transports de force : l'énergie électrique est produite par des dynamos à la station-source S et est transportée à une distance plus ou moins considérable par de simples fils métalliques, à la station R où elle est transformée en énergie mécanique.

La télégraphie électrique sans fils nous fournit un exemple du second cas : l'énergie électrique est produite à la station de départ S par des piles qui constituent la source d'électricité, puis transformée à cette même station au moyen d'une bobine ; de là l'énergie électrique est transportée à distance au moyen de l'éther physique en se propageant sous forme d'ondulations pour être utilisée à la station d'arrivée R sous forme d'énergie mécanique dépensée dans les organes de l'appareil récepteur.

Quel que soit donc l'exemple choisi, le caractère général de toutes les applications de l'électricité apparaît nettement : l'énergie électrique a pour

rôle essentiel de servir comme intermédiaire pour transmettre d'un point à un autre une forme quelconque de l'énergie. Le conducteur, quel qu'il soit, servant à relier les deux points entre lesquels se fait la propagation, reçoit l'énergie électrique de la source qui, pour ainsi dire, la lui confie, et le conducteur, dépositaire de cette énergie, la restitue lorsqu'il l'a conduite jusqu'au point où doit se faire l'utilisation.

Rapprochons des phénomènes électriques les phénomènes hydrauliques : nous acquerrons ainsi plus aisément la notion exacte du courant électrique. Supposons une machine hydraulique A (fig. 1) qui élève l'eau d'un certain niveau T à un niveau supérieur S ; elle communique ainsi à l'eau une quantité déterminée d'énergie potentielle ; cette eau va alors s'écouler en pente douce du niveau S vers un autre point R situé à plusieurs centaines de mètres ou à plusieurs kilomètres. Là l'eau tombe brusquement du niveau R au

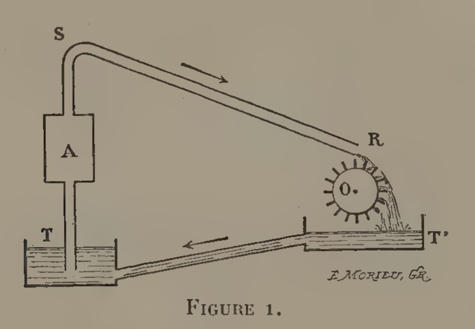


FIGURE 1.

niveau T′, en effectuant un certain travail mécanique : il y a eu, à la station RT′, transformation d'énergie, et par suite, utilisation de l'énergie transmise de S en R. Enfin, l'eau est ramenée, également en pente douce, de T′ en T. On a ainsi formé un circuit dans lequel se propage un flux de matière pondérable.

Dans ce cas l'intermédiaire, l'eau, est matériel et celui-ci existe toujours : le rôle de la source hydraulique, du moteur, n'est donc pas de créer l'intermédiaire qui servira à transmettre l'énergie, mais seulement de le mettre en mouvement, de lui confier une certaine quantité d'énergie qu'il sera seulement chargé de transporter.

L'électricité joue un rôle analogue à celui de l'intermédiaire du système précédent. Considérons en effet un appareil producteur d'énergie électrique : nous avons là une source d'électricité qui sert à élever (pour conserver le langage figuré) l'électricité de T en S (fig. 2), S étant le pôle positif et T le pôle négatif du générateur électrique. L'électricité qui a ainsi acquis une certaine énergie s'écoule, comme l'eau de notre circuit hydraulique, en pente douce de S en R ; elle tombe ici brusquement et cette chute est utilisée pour actionner un récepteur quelconque, un moteur électrique par exemple ; de T′ elle revient enfin à son point de départ.

Nous avons vu tout à l'heure la possibilité de former un circuit hydrau-

lique, de même nous venons de former un circuit dans lequel circule l'électricité.

Pour que le courant électrique puisse se propager dans un circuit, il est nécessaire que les corps qui composent le circuit soient bons conducteurs de l'électricité ; ces corps sont tantôt solides (cuivre, charbon), tantôt liquides (dissolutions salines). Dans un même circuit, on peut placer des corps des deux catégories, fils conducteurs et conducteurs liquides ; c'est ce qui a lieu dans toute opération électrolytique, par exemple.

Ainsi, la notion du courant électrique s'obtient facilement par la comparaison que nous en avons faite avec les phénomènes hydrauliques ; il ne faudrait cependant pas croire que l'analogie soit complète. Il existe au con-

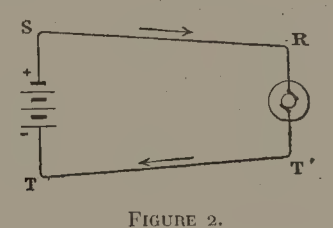


FIGURE 2.

traire une différence sensible et qu'il faut connaître entre le courant électrique et les flux de matières pondérables, bien que certaines des lois qui régissent ces deux sortes de phénomènes soient les mêmes.

Cette différence va nous apparaître clairement : lorsqu'un liquide circule dans une canalisation, aucun effet extérieur ne décèle sa présence. Le courant électrique au contraire, qui se manifeste dans un conducteur par un dégagement de chaleur, produit dans le milieu environnant des effets très nets et faciles à démontrer. Il développe autour de lui un champ magnétique, comme le montrent les fantômes magnétiques ; il modifie les propriétés optiques des corps et surtout il produit des phénomènes d'induction dans les conducteurs que l'on déplace rapidement dans son champ d'action.

L'existence de coudes dans une canalisation hydraulique amène une diminution de force vive du courant liquide ; au contraire, l'enroulement d'un conducteur en forme de spires accroît l'énergie de l'extra-courant de rupture.

Un courant électrique doit être considéré comme l'axe d'une perturbation qui intéresse soit la totalité, soit une partie seulement de la masse du conducteur au point de vue des actions calorifiques et qui s'étend de proche en proche dans le milieu ambiant. Comme cette propagation a lieu dans le vide, il en résulte que c'est l'éther qui sert de véhicule aux ondes électriques.

Un courant provoque, au moment où on l'établit, une onde électro-magnétique qui se propage dans le milieu ambiant avec une vitesse égale à celle de la lumière. Lorsque le courant a atteint son régime permanent, le milieu ambiant est dans un état de tension qui est prouvée par une tendance

à se contracter dans le sens des lignes de force magnétique et à se dilater dans une direction perpendiculaire à celles-ci.

La découverte de la propagation des actions électro-magnétiques sous forme d'ondes semblables à celles de la lumière a une importance capitale. Elle établit un lien intime entre l'électricité, la lumière et la chaleur et amènera très certainement des progrès considérables dans la connaissance des lois qui gouvernent ces agents physiques.

Un courant électrique est la manifestation d'un transport d'énergie qui s'accomplit dans le milieu entourant les conducteurs; ceux-ci ne servent qu'à diriger le phénomène de propagation, en absorbant sous forme de chaleur une partie de l'énergie transmise. Un corps conducteur de l'électricité et qui est le siège d'un courant doit donc être considéré comme la directrice suivant laquelle s'opère le transfert. Telle est la conception que l'on peut avoir actuellement, d'après les travaux modernes, du courant électrique ; quant au mécanisme intime de la transmission, il reste encore inexpliqué, même dans la forme la plus simple du courant électrique, celle du régime permanent.

Les sources d'électricité que nous avons à décrire sont destinées à produire quatre formes différentes du courant électrique ; ce sont :

1° Les sources de courant continu ;

2° Les sources de courant alternatif ;

3° Les sources de courant de haute fréquence ;

4° Les sources d'électricité statique.

On appelle *forme* d'un courant la variation de l'intensité du courant en fonction du temps et on donne au courant le nom de la courbe obtenue en portant en ordonnées les intensités et en abscisses les temps. On dit par exemple *courant sinusoïdal* pour indiquer que la courbe qui représente la variation de l'intensité avec le temps est une sinusoïde, c'est-à-dire une courbe analogue à celle qui traduit graphiquement la loi de l'élongation d'un pendule.

FIGURE 3.

Un courant périodique est un courant variable qui se reproduit, toujours le même, à des intervalles de temps égaux.

Dans le cas de la figure 3 qui représente un courant périodique quelconque le sens du courant ne change pas ; c'est seulement son intensité qui est variable. Une partie de la courbe comprise entre deux points semblablement placés M et M′ s'appelle une *période* du courant. On appelle *fréquence* du courant le nombre de périodes par seconde.

CHAPITRE PREMIER

SOURCES DE COURANT CONTINU

Étude du courant continu. — On appelle *courant continu, courant constant*, *courant galvanique* ou encore *courant voltaïque*, un courant dont l'intensité conserve la même valeur pendant toute la durée de son passage dans un circuit : quel que soit le moment auquel on considère un tel courant, l'intensité possède toujours une même valeur. La courbe qui représente la forme du courant continu (fig. 4) est une droite parallèle à l'axe des temps. Cette forme correspond bien à la définition que nous venons de donner, car aux différentes époques t_1, t_2, t_3, etc., l'intensité du courant est toujours la même, puisque l'on a $AO = A_1t_1 = A_2t_2 = A_3t_3...$

Désignons par I l'intensité d'un courant continu : la quantité d'électricité

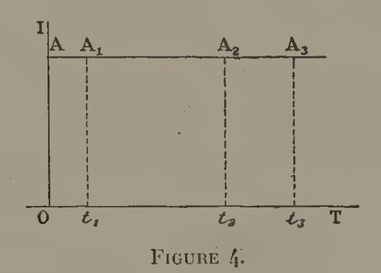


FIGURE 4.

qui a circulé dans le circuit traversé, après un temps donné T, a pour expression $Q = I \times T$.

Lorsque I est exprimé en *ampères* et T en *secondes*, la quantité Q représente des *coulombs*.

Le travail qui correspond à cette quantité Q coulombs est facile à évaluer : si on connaît le voltage du courant, c'est-à-dire la différence de potentiel existant entre les deux bornes où l'on prend le courant, et si E est le nombre de *volts* qui représente cette différence de potentiel, on a $J = E \times Q$, et le travail est alors exprimé en *joules*.

La puissance du courant peut encore être intéressante à calculer, dans certaines applications de l'énergie électrique : elle a pour valeur le produit de l'intensité I du courant par le voltage E. On a $W = E \times I$; cette puissance

est exprimée en *watts* quand E et I représentent respectivement des volts et des ampères.

La forme que nous venons d'assigner au courant continu est celle qu'il possède effectivement pendant le régime permanent ; mais il y a encore à examiner la forme de ce courant au moment où il commence et où il finit : on donne à ces deux périodes le nom de *périodes d'état variable de fermeture et de rupture.*

Lorsqu'on établit le courant constant, l'intensité passe de zéro à une certaine valeur I ; la forme de cet état variable peut être représentée par une

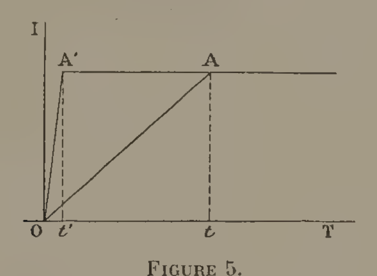


FIGURE 5.

courbe partant de l'origine O commune aux intensités et aux temps, et dont la plus grande ordonnée correspond à la valeur que conservera l'intensité pendant l'état permanent du courant. Cette courbe OA (fig. 5) peut être plus ou moins inclinée sur l'axe des temps suivant que le temps O*t* a été plus ou moins grand. Si l'on établit le courant avec un rhéostat permettant de donner à l'intensité des accroissements très petits et réguliers, la courbe sera une droite OA dont l'abscisse O*t* sera égale au temps mis pour porter l'intensité à la valeur voulue.

Si, au contraire, on ferme brusquement le circuit traversé par un courant continu, sans faire usage du rhéostat, avec un interrupteur ordinaire, par exemple, la courbe OA′ (fig. 5) s'élèvera rapidement, presque suivant l'axe des

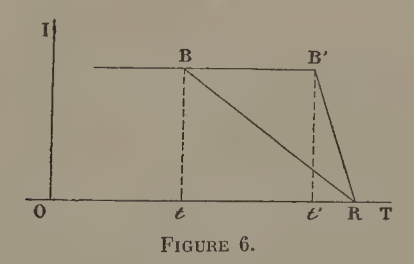


FIGURE 6.

ordonnées. La forme du courant dans cette période brusque de fermeture nous est complètement inconnue ; il est très probable, d'après ce que nous savons de l'action physiologique de cet état variable sur le muscle et les nerfs, que la courbe OA′, qui représente cet état variable, est plus compliquée et qu'elle n'est pas une ligne droite.

L'état variable de rupture peut, lui aussi, être réalisé soit lentement, soit brusquement.

Si l'on se sert d'un rhéostat, la droite BR (fig. 6) fera un très petit angle avec la ligne OT à condition de manœuvrer le curseur du rhéostat très lentement. Mais si l'on rompt brusquement le circuit que traversait le courant, il y a tout d'un coup une descente rapide de l'intensité depuis sa valeur I jusqu'à zéro.

Cet état variable brusque de rupture est, lui aussi, certainement représenté par une ligne moins simple que la ligne droite.

Les phénomènes de self-induction et d'extra-courant interviennent assurément pour modifier la forme de la courbe B'R. Les excitations motrices ou sensitives que nous observons en électro-physiologie permettent de croire à la complexité de cette courbe.

Nous diviserons les sources de courant continu en : 1° Piles ; 2° Accumulateurs ; 3° Dynamos.

PREMIÈRE SECTION. — PILES

§ 1. — **Considérations générales.**

Lorsqu'un courant traverse un électrolyte, il y a création d'une force contre-électromotrice, dite de polarisation, si la réaction développée au sein du liquide est endothermique. Cette force électromotrice dépend de la chaleur de réaction du composé et elle croît progressivement pour n'atteindre sa valeur normale que lorsque la décomposition est bien établie ; la nature et l'état physique des électrodes influent beaucoup sur la polarisation. Prenons un exemple : la chaleur de réaction de l'eau, qui est de 34,4 calories par équivalent chimique, correspond à une force électromotrice de $0{,}043 \times 34{,}4 = 1{,}48$ volt ; si on relie les bornes d'un voltamètre renfermant de l'eau acidulée aux pôles d'une pile de Daniell, dont la force électromotrice n'est pourtant guère supérieure à 1 volt, on constate le passage d'un courant *momentané* qui va graduellement en s'affaiblissant pour devenir tout à fait nul. Pourquoi ce courant a-t-il cessé ? C'est parce qu'il se fait dans l'électrolyte une force électromotrice inverse qui acquiert pendant un temps très court, inférieur à une seconde, la valeur de la force électromotrice de la pile Daniell.

La polarisation se constatera facilement en supprimant les connexions du voltamètre avec la pile et en le reliant rapidement aux bornes d'un électromètre ou d'un galvanomètre.

Les phénomènes de charge et de décharge du galvanomètre sont comparables à ceux qui s'observent avec les condensateurs ; c'est ce qui explique qu'on ait donné le nom de *capacité de polarisation* au rapport de la quantité d'électricité à la force électromotrice de la pile.

La polarisation des électrodes varie avec la nature de celles-ci et aussi avec la densité du courant. Si les électrodes sont des fils de platine brillants, la force électromotrice de polarisation est comprise entre 2 et 2,3 volts ; si les électrodes sont en platine platiné, elle tombe à 1,8 volt. Entre deux pointes métalliques, ce qui rend la densité très grande, elle peut atteindre 3,3 volts : la polarisation est d'autant plus faible que la surface des électrodes est plus grande.

MÉCANISME DE LA PRODUCTION DU COURANT

Si l'on plonge dans de l'eau acidulée une lame de zinc et une lame de cuivre, on obtient dans le circuit extérieur formé par un fil conducteur reliant les deux lames métalliques (fig. 7), un courant qui est dirigé du cuivre vers le zinc ; mais ce courant diminue très vite. Cet effet est du surtout à la force électromotrice inverse de polarisation qui naît au sein même de l'élément par suite de la décomposition de l'eau acidulée. L'affaiblissement du courant est aussi produit par des bulles d'hydrogène qui se déposent sur la lame de cuivre et qui réduisent ainsi la surface utile du pôle positif en augmentant beaucoup la résistance intérieure de la pile. Il y a aussi transformation de l'acide en sulfate de zinc, ce qui augmente également la résistance de l'électrolyte.

Pour empêcher l'affaiblissement du courant de la pile, on absorbe en

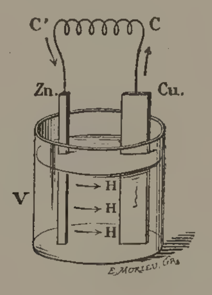


FIGURE 7.

général l'hydrogène avant son dépôt sur la lame positive, et on se sert pour cela de composés chimiques dont le rôle est caractérisé par le nom de *dépolarisants.* Pour se rendre compte du mécanisme de la dépolarisation ainsi obtenue, reprenons notre couple électro-chimique de tout à l'heure et plaçons la lame de cuivre dans un vase poreux renfermant une solution de sulfate de cuivre. Fermons le circuit extérieur ; le courant est dirigé *à l'intérieur* de la pile du zinc vers la lame de cuivre. Sous l'influence du courant, l'eau acidulée et la solution du sel cuivrique vont être décomposées : la première en oxygène et hydrogène ; la seconde en radical acide et cuivre. Le radical acide SO^4 remonte le sens du courant à l'intérieur de l'élément et va se déposer sur le zinc où il forme du sulfate du zinc. Dans l'épaisseur de la cloison poreuse du vase entourant la lame positive, là où les deux liquides

sont en contact, l'hydrogène résultant de l'électrolyse de l'eau acidulée et qui descend le courant va s'unir au radical SO^4, qui tend à aller se déposer sur le zinc, pour former de l'acide sulfurique. Quant au cuivre électrolytique, il se dépose en descendant le courant sur la lame de cuivre qui, par conséquent, conserve une conductibilité parfaite. Les réactions chimiques sont

$$Zn + SO^4H^2 + SO^4Cu = SO^4Zn + SO^4H^2 + Cu.$$

Il y a donc formation d'un équivalent de sulfate de zinc et réduction d'un équivalent de sulfate de cuivre. Si on applique la formule de lord Kelvin, on arrive à trouver la valeur de la force électromotrice de la pile ainsi constituée : la chaleur de formation du sulfate de zinc est 54,8 calories, celle du sulfate de cuivre 29,5 calories. Par conséquent, la force électromotrice disponible est

$$0{,}043\ (54{,}8 - 29{,}5) = 1{,}09 \text{ volt},$$

valeur qui correspond très sensiblement à la force électromotrice d'un élément Daniell, lorsque les deux solutions ont une densité uniforme de 1,15.

La force électromotrice d'un élément dépend de la nature des corps chimiques qui composent la pile ; la résistance intérieure, qui est un facteur très important sur lequel nous reviendrons, est en rapport avec la grandeur des électrodes et leur écartement. Il faut donc pour caractériser un élémeut donné indiquer non seulement la liste des corps composants, mais encore les dimensions des électrodes et leurs compositions relatives. On ne peut cependant pas considérer la force électromotrice et la résistance intérieure comme des constantes, car ces quantités varient dans d'assez grandes proportions pendant le fonctionnement de la pile : le phénomène de polarisation et la formation de composés nouveaux dus aux actions chimiques sont la cause de cette variation. On doit donc, pour définir nettement l'effet utile d'une pile, indiquer sa force électromotrice et sa résistance intérieure moyennes dans des conditions de fonctionnement données.

Étude générale de la pile. — Pour faire une étude générale des piles, il convient d'examiner : 1° le liquide ; 2° le métal attaqué ; 3° l'électrode positive ; 4° le dépolarisant ; 5° le récipient poreux dans lequel le dépolarisant est généralement contenu.

1° *Liquide de la pile.* C'est généralement l'eau acidulée au vingtième par l'acide sulfurique que l'on emploie. L'acide sulfurique fabriqué avec les pyrites renferme des produits arsenicaux, qui attaquent le métal formant l'électrode négative de la pile, même quand celui-ci est pur.

On peut substituer l'eau acidulée chlorhydrique à la sulfurique ; le chlorure formé est plus soluble que le sulfate et présente par conséquent une moindre tendance à la formation de sels grimpants qui sont un gros inconvénient. Autre avantage : la chaleur de formation du chlorure est plus grande que celle du sulfate. En revanche, il y a, en présence de certains dépolarisants, dégagement de chlore, lorsqu'on utilise l'acide chlorhydrique.

Dans une catégorie de piles très répandues, le liquide est constitué par une solution de chlorure alcalin, chlorure de sodium, d'ammonium. Le titre de la solution doit être assez élevé pour diminuer la résistance intérieure de la pile : pour l'élément Leclanché, en particulier, nous conseillons d'employer une solution renfermant 130 grammes de chlorure d'ammonium par litre.

Lorsque le sel de la solution employée a des tendances au grimpement, on retarde l'ascension en déposant sur les bords supérieurs du vase une couche de substance non hygroscopique, vaseline, paraffine, vernis.

2° *Métal attaqué.* C'est le zinc qui est en général utilisé comme corps oxydable dans les piles. Le zinc pur n'est pas attaqué par l'acide sulfurique; il faut, pour que l'attaque se produise, qu'il soit en contact avec un autre corps moins positif immergé dans le liquide. Ce qui provoque l'attaque du zinc ordinaire, commercial, quand on le plonge dans de l'eau acidulée, ce sont les impuretés qu'il contient, fer, carbone, etc., qui à sa surface constituent de petits couples locaux : chaque particule d'impureté devient le pôle positif d'une pile et le zinc est attaqué par l'acide tout autour de ce pôle. On arrive cependant à supprimer l'attaque du zinc ordinaire et à lui communiquer les propriétés passives du zinc pur au moyen de l'amalgamation. Cette opération peut se faire de plusieurs manières : la plus simple consiste à immerger la lame de zinc dans une solution d'un sel de mercure au maximum, par exemple d'azotate mercurique, additionnée de son volume d'acide chlorhydrique. Un autre procédé consiste à frotter la lame à l'aide d'une brosse dure ou d'un tampon d'amiante plongé au préalable dans une assiette où l'on a mis du mercure et de l'acide sulfurique. C'est ce dernier procédé que l'on emploie habituellement.

La passivité du zinc vis-à-vis de l'acide sulfurique, lorsque ce métal est amalgamé, peut être expliquée par l'adhérence de l'hydrogène à la surface de la lame de ce métal : le zinc étant négatif par rapport à l'hydrogène est ainsi soustrait à l'acide; ce qui prouve que cette explication est exacte, c'est que si l'on fait le vide au-dessus du vase, l'hydrogène se dégage et l'attaque commence aussitôt.

L'amalgamation du zinc ne dure pas indéfiniment; à mesure que la pile fonctionne, le zinc revient à son état primitif et l'on est obligé de le réamalgamer. On peut obtenir une amalgamation non plus superficielle, mais complète; pour cela, on chauffe en vase clos 4 parties de mercure avec 96 parties de zinc jusqu'à la fusion.

Cette opération a le grand avantage de réduire beaucoup l'usure du zinc en circuit fermé en ne permettant pas les réactions parasites; quant à l'usure en circuit ouvert, elle est nulle.

Il y a un autre moyen, plus économique, pour maintenir constante l'amalgamation du zinc : on fait plonger la lame de zinc dans un petit godet plein de mercure. Le zinc s'unit alors peu à peu au mercure sous l'effet du courant et l'action chimique se porte sur la partie amalgamée. Le mercure

n'intervenant pas dans les réactions chimiques produisant le courant, reste en quantité invariable dans le godet.

3° *Électrode positive.* Le corps qui est employé pour électrode positive ne doit pas être attaqué par le liquide dans lequel il est immergé ; on se sert dans beaucoup de modèles de piles du charbon artificiel qui a l'avantage de présenter une surface rugueuse sur laquelle les bulles gazeuses adhèrent difficilement. Il faut avoir soin de donner à cette électrode la plus grande surface possible, pour rendre plus petite la résistance intérieure. Dans certains éléments on utilise le cuivre ; on peut aussi se servir d'une lame métallique mince recouverte par le platinage d'une pellicule de métal inattaquable aux acides.

4° *Dépolarisants.* Par définition, un dépolarisant est un corps capable de retenir l'hydrogène pendant son transport ionique. Nous savons que ce composé doit être placé tout autour de l'électrode positive. Les corps qui répondent le mieux à cette fonction sont : les sels facilement réductibles, les peroxydes et, en général, toutes les substances riches en oxygène ou en chlore.

Parmi les composés que l'on trouve habituellement utilisés comme dépolarisants, nous citerons parmi les solides : les peroxydes de manganèse ou de plomb, l'oxyde noir de cuivre, le chlorure d'argent ; parmi les dépolarisants liquides : l'acide azotique, l'eau de chlore, l'eau régale ; parmi les corps en dissolution : le sulfate de cuivre et l'acide chromique.

Si l'on veut obtenir une pile énergique, il faudra prendre un dépolarisant n'entraînant qu'une faible dépense d'énergie pour sa décomposition : on s'adressera alors à l'acide azotique ou à l'acide chromique. Quelques-uns des dépolarisants mentionnés plus haut ont l'inconvénient de dégager pendant leur décomposition des produits délétères : ainsi l'acide azotique donne lieu à des vapeurs nitreuses ; l'eau régale dégage des vapeurs nitreuses et du chlore ; ce dernier corps forme avec l'hydrogène de l'acide chlorhydrique dont la chaleur de combinaison est supérieure à la chaleur de décomposition de l'eau acidulée.

Certains dépolarisants peuvent être placés dans le liquide de la pile directement ; tels sont les dépolarisants solides, bioxyde de manganèse, oxyde de cuivre, etc. Il n'y a dans ce cas qu'un seul liquide. L'état solide est assurément peu favorable à l'activité des réactions, mais la conservation des éléments qui ne doivent fournir du courant qu'à des intervalles peu rapprochés est rendue bien plus facile.

5° *Vases poreux.* Lorsque le dépolarisant est liquide ou à l'état dissous, il faut le placer dans un vase poreux qui baigne dans le liquide excitateur de la pile ; elle est alors dite : *pile à deux liquides*. Un inconvénient de la présence d'une cloison poreuse dans un circuit électrique, c'est que celle-ci augmente la résistance intérieure de la pile, car le courant ne peut passer qu'à travers les orifices capillaires constituant les pores du récipient.

On fait en général les vases poreux des piles avec de la porcelaine dégourdie dont la porosité peut être rendue variable et qui se mesure par la quantité de liquide qui peut suinter à travers la cloison en un temps donné. Il faut savoir que ces récipients se brisent presque fatalement au bout d'un temps plus ou moins long de fonctionnement de la pile. Les causes de cet accident sont dues aux cristallisations qui se produisent dans les pores de la région supérieure non immergée et aussi aux dépôts métalliques, par exemple de cuivre, qui se font dans les parois du vase situées près de l'électrode positive ; l'inégale dilatation du métal déposé et de la paroi poreuse fait éclater le vase.

Il existe d'autres récipients destinés à contenir le dépolarisant ; dans la pile Leclanché, par exemple, on place le bioxyde de manganèse dans un vase en charbon artificiel ; ce vase sert en même temps de pôle positif.

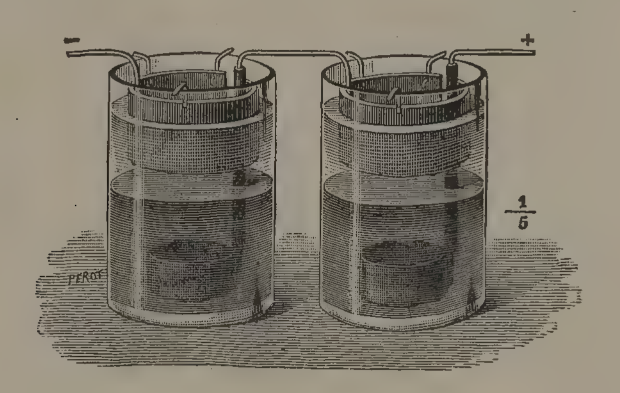


FIGURE 8 (*Janet*).

Disons enfin qu'on peut supprimer toute cloison poreuse, même lorsque le dépolarisant est liquide pourvu qu'il ait peu de tendance à diffuser vers le liquide excitateur ; c'est ce qui a lieu avec deux dissolutions (fig. 8), l'une de sulfate de zinc servant de liquide excitateur, l'autre de sulfate de cuivre. Il suffit de faire la solution de sulfate de cuivre à un titre élevé, tandis que la concentration de la solution de sulfate de zinc sera faible ; en prenant quelques précautions, la solution du sel de zinc peut être superposée à celle du sel de cuivre ; s'il n'y a pas d'agitation des liquides, ils peuvent rester très longtemps sans diffuser l'un vers l'autre. On a ainsi supprimé toute cloison poreuse, ce qui est un grand avantage au point de vue de la résistance intérieure de l'élément.

Les corps poreux sont encore utilisés dans les piles pour immobiliser les liquides et obtenir des éléments transportables ; les solutions peuvent être renfermées dans des corps tels que l'éponge, le plâtre, un mélange de sable et de plâtre, ou encore le silicate de soude qui peut fournir une gelée.

Les piles formées à l'aide de ces différentes substances sont dites *sèches*, car les liquides ne sont pas apparents ; leur évaporation est rendue très

lente. Mais les gros inconvénients de pareilles piles consistent : 1° en une très grande résistance intérieure ; 2° en un débit très faible dû à ce que l'emprisonnement des substances actives dans des espaces capillaires n'est guère favorable aux réactions chimiques, source de l'électricité débitée par les piles.

§ 2. — **Force électromotrice d'une pile.**

Il y a à distinguer la force électromotrice d'une pile lorsque celle-ci est *ouverte* et lorsqu'elle est *fermée*. Si on relie l'un des pôles d'une pile à l'aiguille d'un *voltmètre électrostatique* de lord Kelvin, pendant que l'autre pôle sera relié aux disques de cuivre du même appareil, on constate que l'aiguille dévie, elle s'incline en s'éloignant des quadrants laissés vides, pour aller vers les quadrants pleins ; dans ces conditions, le courant ne passe pas ; la pile est en circuit ouvert. Si la graduation de l'électromètre a été faite préalablement, il suffira de lire la division vis-à-vis de l'aiguille pour connaître la valeur de la force électromotrice de la pile, sans lui faire produire de courant. Nous désignerons cette force électromotrice par E.

Lorsque les deux bornes d'une pile sont réunies au moyen d'un conducteur extérieur, la pile est alors fermée et la force électromotrice est plus petite qu'entre les bornes de la même pile ouverte : appelons e la force électromotrice aux bornes de la pile.

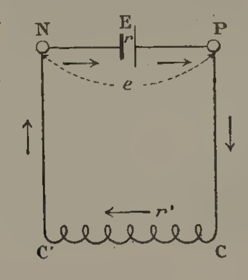


FIGURE 9.

Soit r la résistance intérieure de la pile, r' la résistance du circuit extérieur, la résistance totale est $R = r + r'$.

En appliquant la loi d'Ohm aux deux portions du circuit PCC'N et NEP de la figure 9, nous avons, en désignant par V_p et V_n les potentiels des deux bornes :

$$\text{(Portion PCC'N)} \quad V_p - V_n = r'I \qquad (1)$$
$$\text{(Portion NEP)} \quad V_n - V_p = r\,I - E \qquad (2)$$

Cette dernière égalité peut aussi se mettre sous la forme :

$$V_p - V_n = E - rI \,;$$

or $V_p - V_n$ est précisément la force électromotrice aux bornes de la pile ; c'est e. On a donc :

$$e = E - rI. \qquad (3)$$

Ce qui est aussi égal à $r'I$, puisque pour le circuit total dont la résistance est R, on a :

$$E = RI. \qquad (4)$$

En divisant les égalités (3) et (4) membre à membre, on obtient :

$$\frac{e}{E} = \frac{E}{RI} - \frac{rI}{RI} = 1 - \frac{r}{R}.$$

On voit ainsi que le rapport $\frac{e}{E}$ est d'autant plus voisin de 1 que la résistance totale R est plus grande, comparativement à la résistance r.

Ce rapport $\frac{e}{E}$ peut encore tendre à se rapprocher de l'unité si r est très voisin de zéro, c'est-à-dire si la résistance de la pile a la plus faible valeur possible.

Prenons une pile de Daniell ayant une force électromotrice de 1,08 volt et une résistance intérieure de 4 ohms. Si on réunit les deux bornes par un fil gros et court de résistance négligeable, on aura : $e = 0$, puisque $\frac{r}{R} = 1$.

En prenant $r' = 4$ ohms, $e = 0^v,54$ et $\frac{e}{E} = \frac{1}{2}$.

Si l'on fait $r' = 4.000$ ohms, $e = 1^v,079$ et $\frac{e}{E} = 0,999$, c'est-à-dire que e est très voisine de E.

Sans prendre r' aussi grand, on peut arriver au même résultat, à condition de rendre très faible la résistance intérieure de la pile ; ainsi avec $r = 0,3$ ohm et $r' = 200$ ohms, on obtient $e = 1^v,078$ et $\frac{e}{E} = 0,9985$.

D'après cela, on comprend toute l'importance qu'il faut donner à ce facteur, *résistance intérieure* des piles.

§ 3. — **Puissance d'une pile.**

On appelle puissance d'une pile le produit de la force électromotrice aux bornes e par l'intensité du courant qu'on lui fait débiter. On a :

$$W = e \times I.$$

La puissance d'une pile mesure en quelque sorte la vitesse avec laquelle cette machine travaille. On sait que l'unité de puissance est le *watt*, c'est-à-dire la puissance d'une machine pouvant produire 1 *joule* par seconde. Le *joule* vaut $\frac{1}{9,81}$ ou $0^{kgm},102$.

Le cheval-vapeur ou 75 kilogrammètres correspond à 736 watts.

La formule (3)

$$e = E - r I$$

permet de tirer la valeur de l'intensité I ; on a :

$$I = \frac{E - e}{r}.$$

Remplaçons I par cette valeur dans l'expression de la puissance d'une pile ; nous obtenons :

$$W = \frac{e (E - e)}{r}.$$

Dans cette nouvelle expression de la puissance, nous voyons que le terme r, résistance intérieure de la pile qui est au dénominateur, est une quantité constante ou à peu près constante, dont nous ne sommes en tous cas pas maître de faire varier la valeur. Par conséquent, pour rechercher les conditions qui rendent maxima la puissance W, on ne peut que considérer le numérateur $e (E - e)$, qui doit évidemment être rendu le plus grand possible. Or, ce numérateur est le produit de deux facteurs dont la somme est constante et égale à E.

Par conséquent, $e (E - e)$ sera maximum lorsque l'on aura :

$$e = E - e$$

ou

$$e = \frac{E}{2}.$$

Nous arrivons ainsi à ce résultat pratique : pour qu'une pile fonctionne en produisant le plus de travail possible dans l'unité de temps, il faut que la force électromotrice aux bornes soit la moitié de la force électromotrice de la pile en circuit ouvert. Si la force électromotrice E est égale à 2 volts par exemple, le maximum de puissance extérieure aura lieu au moment où un voltmètre placé en dérivation aux bornes indiquerait 1 volt. Le tableau suivant montre bien les variations de puissance d'une pile dont la force électromotrice E est de 2 volts.

Valeurs de e volt.	Puissance en watts.
0	0
0,25	0,4375
0,50	0,7500
0,25	0,9375
1	1
1,25	0,9375
1,50	0,7500

On voit que la puissance de la pile va en croissant d'abord, passe par un maximum, puis décroît.

Si le circuit parcouru par le courant ne renferme pas de force électromotrice inverse, tel qu'un moteur électrique ou un accumulateur, on peut trouver les conditions que doit réaliser la valeur de la résistance totale R du

circuit pour que la pile fonctionne avec le maximum de puissance. On a, d'après la loi d'Ohm :

$$I = \frac{E}{R}.$$

La force électromotrice aux bornes est :

$$e = (R - r) I$$

ou

$$e = \frac{(R - r) E}{R}.$$

Or, nous savons que la puissance est maxima lorsque $e = \frac{E}{2}$; remplaçons donc e par cette valeur ; nous obtenons :

$$\frac{E}{2} = \frac{(R - r) E}{R}.$$

Ce qui donne finalement :

$$R = 2r.$$

C'est donc lorsque la résistance totale du circuit est égale au double de la résistance intérieure de la pile ou, ce qui revient au même, lorsque la résistance *extérieure* est égale à la résistance *intérieure*, que la puissance est maxima.

Mais cela n'est vrai, il faut bien le remarquer, qu'à condition qu'il n'y ait en aucun point du circuit extérieur *aucune force électromotrice inverse.* Il ne faut donc pas donner la déduction précédente comme une loi générale, ainsi qu'on le trouve dans un assez grand nombre de traités classiques.

§ 4. — Rendement des piles.

On appelle *rendement en énergie* d'une source d'électricité le rapport de la puissance disponible à la puissance totale. La force électromotrice aux bornes e a pour limite supérieure la force électromotrice totale E ; la puissance disponible à l'extérieur eI a pour limite supérieure le produit EI. Le rendement est le quotient de ces deux produits :

$$R = \frac{eI}{EI} = \frac{e}{E}.$$

Si l'on remplace e par la valeur équivalente que nous connaissons $(E - rI)$, on obtient :

$$R = \frac{E - rI}{E} = 1 - r\frac{I}{E}.$$

Cette dernière expression est commode pour étudier les circonstances qui font varier le rendement d'une pile ou d'une source quelconque.

On voit d'abord que R est d'autant plus grand que I est plus petit, puisque $r\frac{I}{E}$ doit être retranché de 1. C'est donc en faisant débiter à une pile un courant de faible intensité que l'on utilise le plus économiquement

l'énergie de cette pile. Mais ce n'est pas le but que l'on se propose en général avec cette source d'électricité : on veut presque toujours obtenir le maximum de puissance utile ; dans ce cas, nous savons que e doit être la moitié de la force électromotrice en circuit ouvert.

L'expression du rendement devient alors :

$$R = \frac{E}{2E} = \frac{1}{2}.$$

Nous voyons ainsi que la valeur du rendement d'une pile qui fonctionne en produisant la puissance maxima n'est que de 50 p. 100 ; il n'y a que la moitié de l'énergie chimique qui soit utilisée, le reste se transforme en chaleur.

§ 5. — Prix de revient de l'énergie fournie par les piles.

Supposons une pile formée de n éléments dont la force électromotrice totale est E et soit ε l'équivalent électro-chimique (rapporté à 1 coulomb) de l'un des corps intéressés dans les réactions.

Si le courant est de I ampères, le poids de ce corps qui réagit en une seconde est

$$P = n\varepsilon . I ;$$

d'où

$$I = \frac{P}{n\varepsilon}.$$

La puissance de la pile E.I peut être mise sous la forme

$$E \frac{P}{n\varepsilon}$$

et si l'on appelle e la force électromotrice disponible d'un seul élément, qui est égale à $\frac{E}{n}$, la puissance devient :

$$e \frac{P}{\varepsilon}.$$

La puissance d'un cheval-vapeur correspond à

$$E \frac{P}{n\varepsilon} = 736 \text{ watts}$$

d'où

$$\frac{P}{\varepsilon} = 736 \times \frac{n}{E} = \frac{736}{e}.$$

Pour l'hydrogène, $\varepsilon = 0{,}1035 \times 10^{-4}$ grammes : d'où

$$P = \frac{736 \times 0{,}1035}{e \times 10^4} \text{ grammes par seconde.}$$

La dépense par heure sera 3.600 fois plus grande, c'est-à-dire

$$\frac{27{,}42}{e} \text{ grammes.}$$

Les autres corps, zinc, etc., donneront des dépenses proportionnelles à leurs équivalents électro-chimiques.

Pour la pile Daniell, où *e* est très voisin de 1 volt, les dépenses par cheval-heure sont les suivantes :

Zinc	$0^{kg},905$
Acide sulfurique.	1 344
Sulfate de cuivre.	3 42

Le poids du cuivre déposé est de $0^{kg},875$. Si on compte le zinc à 0 fr. 60 le kilogramme, l'acide sulfurique à 0 fr. 10, le sulfate de cuivre à 0 fr. 45 et le cuivre impur recueilli à 0 fr. 75, on trouve le prix total de 1 fr. 55 par cheval-heure.

Mais il faut encore tenir compte du rendement pour apprécier le prix de l'énergie disponible ; si la pile est utilisée avec un rendement de 50 p. 100, il faut majorer d'environ la moitié la somme précédente. Il y a lieu encore de tenir compte des réactions parasites de la pile (dépôt de cuivre sur le zinc), des déchets de matière lors du renouvellement et des frais d'entretien : on arrive ainsi à 3 fr. 50 environ pour l'énergie d'un cheval-heure fournie *utilement* par la pile Daniell et les autres modèles donnent des prix comparables. Avec le courant industriel payé à raison de 5 à 8 centimes l'hectowatt, le cheval-heure revient à environ 40 à 60 centimes !

Comme on le voit, les piles constituent une source de luxe. Si la production industrielle de l'énergie électrique ne trouve pas actuellement sa solution dans les piles, ces sources d'électricité ont néanmoins un champ d'application assez vaste. Ce sont en effet des générateurs toujours prêts et dont l'installation peut se faire sans grandes dépenses.

DEUXIÈME SECTION. — ACCUMULATEURS

§ 1. — **Généralités. Mécanisme de l'accumulation de l'énergie électrique.**

C'est l'une des sources les plus importantes pour le radiographe ; aussi devons-nous l'étudier avec soin. L'accumulateur constitue d'ailleurs le transformateur du courant industriel le plus commode, le plus sûr qu'on puisse trouver ; c'est un transformateur *à action différée*, qui rend l'énergie emmagasinée quand on le désire, sans s'altérer pendant qu'il en est le dépositaire. L'usage des accumulateurs est pour toutes ces raisons extrêmement répandu, et l'on ne prévoit pas actuellement pourquoi il ne le deviendrait pas encore davantage.

L'électrolyse, en créant, comme nous l'avons vu au début de l'étude des piles primaires, une force électromotrice de polarisation, permet d'obtenir des piles secondaires d'une façon bien plus simple encore. Prenons deux éprouvettes au fond desquelles passe une lame de platine ; renversons-les

une fois pleines d'eau acidulée sur un vase contenant lui aussi le même liquide. Nous avons constitué ainsi un voltamètre à eau acidulée. Si l'on fait passer dans ce voltamètre un courant de force électromotrice suffisante, de 2 volts par exemple, les gaz hydrogène et oxygène provenant de l'action électrolytique vont se dégager au niveau des lames de platine en refoulant le liquide vers le fond des éprouvettes.

Relions maintenant les électrodes du voltamètre aux bornes d'un galvanomètre : nous voyons qu'aussitôt une déviation de l'équipage mobile a lieu (premier fait). Si nous examinons le sens du courant, d'après le sens de la déviation imprimée au galvanomètre, nous constatons que le courant secondaire provenant du voltamètre est dirigé en sens contraire de celui qui a produit la décomposition électrolytique dans les éprouvettes (second fait). Enfin, pendant que le courant secondaire s'écoule dans le circuit extérieur, nous voyons les gaz des éprouvettes diminuer de plus en plus et disparaître (troisième fait).

Nous avons donc obtenu par l'électrolyse de l'eau acidulée, une pile secondaire présentant les mêmes propriétés que celles des piles précédentes. C'est la pile à gaz de Grove qu'on peut former directement en remplissant les éprouvettes avec les deux gaz préparés par les procédés ordinaires.

Le courant fourni par cette pile de Grove est très faible, car l'action chimique est limitée dans chaque éprouvette à la ligne de séparation du liquide, du gaz et de la lame de platine.

On a cherché à augmenter la surface d'action de cette pile secondaire afin d'accroître son énergie électrique ; pour cela, Moud et Lauger ont imaginé d'enfermer l'eau acidulée dans les pores d'une plaque de plâtre portant sur chacune des faces opposées un grillage de plomb dont les orifices sont remplis de noir de platine. La force électromotrice de cet élément fonctionnant avec l'air et l'hydrogène est d'un volt.

§ 2. — **Constitution des accumulateurs.**

La pile secondaire formée par l'électrolyse de l'eau acidulée est le schéma pour ainsi dire de l'accumulateur actuel. La découverte de celui-ci a été faite d'ailleurs par hasard par Planté qui eut l'idée de prendre comme électrodes du voltamètre du plomb à la place du platine.

Cette substitution, qui ne paraissait pas d'une grande importance, a été le point de départ des progrès réalisés dans le problème de l'accumulation de l'énergie électrique à l'état potentiel. La force électromotrice de la pile secondaire formée par un voltamètre à électrodes de plomb est beaucoup plus grande que si les électrodes étaient en platine ; elle atteint facilement 2 volts et l'intensité du courant secondaire peut être considérable.

A quoi tient une telle augmentation de l'énergie électrique ? L'oxygène provenant de l'électrolyse de l'eau se porte sur la lame de plomb positive et se combine avec ce métal pour former du bioxyde de plomb, ou oxyde

puce; l'hydrogène se porte sur la lame négative et réduit l'oxyde superficiel qui recouvrait cette lame en donnant naissance à du plomb réduit de coloration noirâtre.

Lorsque après un certain temps de passage du courant primaire, on vient à fermer le circuit du voltamètre à électrodes de plomb, il se fait une électrolyse inverse : l'hydrogène libéré à la lame positive de couleur puce y réduit le bioxyde et le ramène à l'état de protoxyde qui se combine à l'acide sulfurique pour former du sulfate de plomb, tandis que l'oxygène se portant sur la lame négative oxyde celle-ci et l'oxyde ainsi produit forme avec l'acide du sulfate de plomb.

On a :

$$Pb + 2SO^4H^2 + PbO^2 = SO^4Pb + 2H^2O + SO^4Pb.$$

La quantité de chaleur due à ces réactions qui s'opèrent pendant la production du courant de la pile secondaire correspond à 1,93 volt; ce nombre est peu éloigné de la force électromotrice trouvée par l'expérience, ce qui est une confirmation de l'exactitude de l'équation chimique précédente.

Il faut cependant signaler un phénomène curieux qui se produit à la fin de la charge de la pile secondaire ainsi formée. La force électromotrice subit une augmentation notable et atteint 2,6 volts. Cette variation est due à l'électrolyse de l'acide sulfurique : il se forme en effet de l'acide persulfurique, $S^2O^8H^2$, au pôle positif au moment où la pile va être complètement chargée. Cet acide, instable, se décompose en donnant de l'eau oxygénée qui au contact de la lame positive détermine une élévation de force électromotrice; mais dès qu'on arrête la charge, cette eau oxygénée se répand dans toute la masse de l'eau acidulée et aussitôt la force électromotrice tombe à sa valeur normale.

Lorsqu'on a déchargé une pile secondaire à électrodes de plomb, on peut la recharger en reliant de nouveau les électrodes aux pôles d'une source primaire d'électricité, en ayant soin de relier la lame qui tout à l'heure était recouverte d'oxyde puce au pôle positif de la source; alors le sulfate de plomb, que nous avons vu se former pendant la décharge, est transformé en bioxyde de plomb et acide sulfurique au niveau de l'électrode positive; tandis qu'au pôle négatif l'hydrogène qui s'y dégage ramène le plomb à l'état métallique. Comme on le voit, le nouveau courant que l'on envoie dans cette pile secondaire fait revenir les électrodes au même état qu'après la première charge, avec cette différence, c'est que la quantité d'oxyde formé sur la lame positive est plus considérable ; cela tient à ce que la couche réduite est poreuse et laisse pénétrer plus avant l'action chimique. Au pôle négatif, il y a eu aussi, grâce à la nouvelle charge, des modifications qui rendent plus favorables les actions chimiques ; il y a eu en particulier formation d'une couche pulvérulente de plomb réduit qui se prête mieux que la surface polie initiale aux combinaisons, source de la force électromotrice de la pile secondaire. Cela revient à dire évidemment qu'après la seconde

charge, la durée du courant fourni par la pile secondaire sera plus grande qu'après une première charge ; nous dirons pour abréger que la *capacité électrique* de la pile secondaire a augmenté à la suite d'une seconde charge. Si, après avoir déchargé la pile, on procède à une troisième, puis à une quatrième charge, on trouve que la capacité électrique va encore en augmentant, ce qui est dû à une augmentation de l'épaisseur des couches actives des lames de plomb.

L'étude qui précède montre que le plomb permet d'emmagasiner dans la pile secondaire formée par le voltamètre une quantité d'énergie comparable à celles que fournissent les piles primaires. Si l'on essaie de remplacer dans le voltamètre le plomb par les autres métaux connus, on trouve qu'aucun autre ne peut donner d'aussi bons résultats. C'est donc au plomb qu'il faut s'en tenir, et en effet tous les accumulateurs usités actuellement sont formés par des électrodes en plomb.

Augmentation de la capacité des accumulateurs. — Pour obtenir une grande capacité, on doit employer de grandes surfaces de plomb : dans les premiers accumulateurs construits par Planté on arrivait à ce résultat en enroulant l'une sur l'autre en spirale (fig. 10) deux lames de plomb séparées par des bandes de caoutchouc qui les empêchaient de se toucher. On a renoncé il y a longtemps à ce mode de construction qui compliquait inutilement

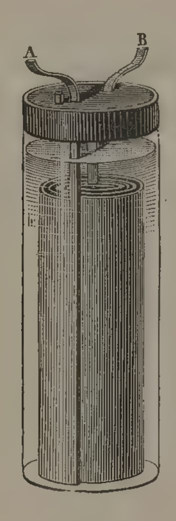



FIGURE 10.

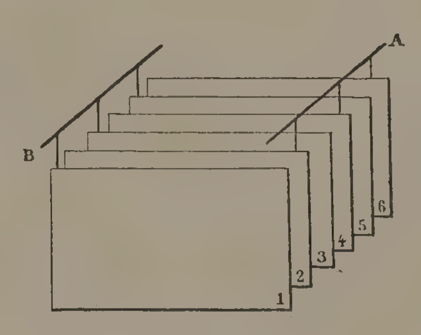


FIGURE 11.

l'appareil; actuellement on dispose des plaques planes rectangulaires parallèles entre elles et on les réunit en quantité ; chaque électrode est ainsi constituée, et pour diminuer la résistance intérieure de l'accumulateur, on fait entrer les lames de l'une des électrodes dans les intervalles de l'autre. On peut encore disposer parallèlement (fig. 11) des plaques de plomb à la suite les unes des autres et réunir ensemble toutes les plaques de rang pair

qui constituent ainsi l'une des électrodes A et toutes les plaques de rang impair qui forment l'autre électrode B.

Bien que l'intervalle des lames doive être aussi réduit que possible, il faut veiller soigneusement à ce qu'il n'y ait pas contact entre les lames de rang différent ; on comprend en effet aisément qu'il se ferait alors un court-circuit qui amènerait très rapidement la décharge de l'accumulateur en pure perte. L'existence d'un court-circuit serait encore très nuisible pendant la décharge, car tout le courant de charge en passant par le point de contact des lames serait également perdu.

On peut parer à ce gros inconvénient en intercalant entre les plaques des tubes de verre ou bien en pratiquant dans les parois des récipients des rainures en substance isolante, en porcelaine par exemple. Mais, malgré ces précautions, il faut une surveillance continuelle pour empêcher les courts-circuits de se produire : les plaques, surtout les positives, se gondolent toujours et peuvent ainsi arriver à toucher par leur partie la plus convexe la plaque négative voisine. Lorsqu'un tel contact vient à se produire dans un accumulateur, il est vite reconnu à l'aide du voltmètre qui indique alors une force électromotrice voisine de zéro.

§ 3. — **Formation naturelle des accumulateurs.**

Telle que nous avons indiqué jusqu'à présent la construction de l'accumulateur, la capacité électrique obtenue est faible ; aussi la découverte de Planté n'aurait-elle pas rendu de grands services, si cet habile physicien n'avait trouvé le moyen d'augmenter dans de très grandes proportions la quantité d'énergie susceptible d'être emmagasinée sur les électrodes. C'est la remarque que nous avons faite précédemment, à savoir l'accroissement de la capacité électrique par un nombre de charges de plus en plus grand que Planté a mise à profit pour arriver à rendre pratique et utilisable sa découverte de l'accumulateur. En soumettant un accumulateur de Planté non seulement à une série de charges et de décharges successives, mais encore à une série de charges alternativement dirigées en sens inverse, on donne à l'accumulateur un traitement préparatoire qu'on appelle la *formation*.

Par conséquent, former un accumulateur, c'est le charger tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, en ayant soin de laisser reposer pendant quelque temps l'accumulateur après chaque charge.

La technique de la formation de l'accumulateur Planté est simple, cependant il faut savoir que les premières charges doivent être d'une faible durée, environ un quart d'heure ; on augmente ensuite ce temps de charge peu à peu jusqu'à ce que l'accumulateur ait atteint la capacité voulue. Une fois ce résultat obtenu, il faut conserver toujours le même sens pour la charge ; c'est pour faciliter la reconnaissance des pôles que les constructeurs font une marque rouge au pôle positif ; c'est cette électrode qu'il faut

relier au pôle positif de la source primaire ; c'est aussi celle qui est l'anode de l'accumulateur.

Pour faciliter la formation de son accumulateur, Planté a conseillé de plonger les lames de plomb dans de l'acide azotique étendu pendant un ou deux jours ; le métal devient alors spongieux à la surface, circonstance favorable pour le développement des actions chimiques en profondeur.

Les accumulateurs ainsi obtenus constituent de bonnes piles secondaires et offrent toutes les garanties comme solidité et comme capacité. Malheureusement, la formation est longue, il faut plusieurs mois pour former un accumulateur destiné aux usages industriels ; on comprend que pour cette série de charges successives il faille dépenser une grande quantité d'énergie électrique, ce qui augmente énormément le prix de revient.

Malgré ce grave inconvénient, les accumulateurs du type Planté sont utilisés dans l'industrie.

La capacité des accumulateurs d'Arsonval-Vaugeois, qui sont du type Planté, est très grande. Le plomb qui constitue les électrodes est très homogène, exempt de soufflures et très dense; la surface développée atteint

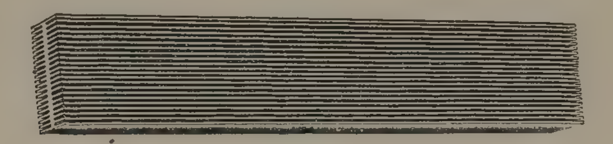


FIGURE. 12.

plus de quarante fois la surface apparente ; ce résultat est obtenu en faisant sortir le plomb, à une température voisine de son point de fusion, d'une filière spéciale sous une pression allant jusqu'à 2.000 kilogrammes par centimètre carré ; la surface du plomb présente alors des rainures (fig. 12) et est hérissée de lamelles parallèles dont l'épaisseur est excessivement petite et atteint jusqu'à 1/10 de millimètre. Le faisceau sans fin qui sort de la filière est scié en segments que l'on soude dans des cadres appropriés (fig. 13) par un procédé de soudure électrique autogène.

Les deux électrodes sont semblables et formées par le procédé Planté. Un accumulateur d'Arsonval-Vaugeois ayant les dimensions suivantes :

Hauteur	390 millimètres
Largeur	138 —
Longueur	105 —

pèse seulement $17^{kg},5$ et a une capacité de 45 ampères-heures.

On sait que l'*ampère-heure* est l'unité industrielle de quantité d'électricité ; elle vaut 3.600 coulombs.

On évalue les capacités des accumulateurs à l'aide de cette unité ; il faut

bien remarquer que le nombre d'ampères-heures peut rester le même si l'intensité diminue ou augmente, à condition que le nombre d'heures augmente ou diminue : ainsi un accumulateur qui possède une capacité de 30 ampères-heures peut être déchargé en lui faisant débiter un courant de

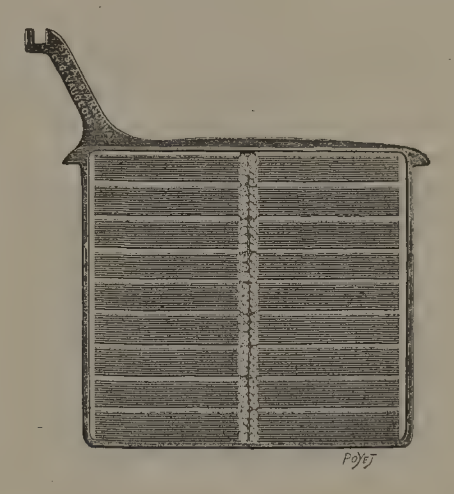


FIGURE 13.

1 ampère pendant 30 heures ou bien un courant de 15 ampères pendant 2 heures.

On voit que le mot capacité n'a pas le sens qu'on lui attribue dans l'étude des phénomènes de condensation.

§ 4. — Formation artificielle des accumulateurs.

Dans les accumulateurs qui viennent d'être décrits, la formation était obtenue par l'action électrolytique seule : c'est ce qu'on appelle la *formation naturelle* ou *formation Planté*.

Il existe une autre formation des électrodes d'accumulateurs, c'est la *formation artificielle*. Le principe en a été imaginé par Faure. Le grand avantage des accumulateurs de ce nouveau type, c'est de permettre une capacité d'emmagasinement considérable dans un temps très court.

La formation artificielle consiste à déposer artificiellement, et toutes formées, les matières actives qui, dans la formation naturelle, sont créées sur place, par la voie électrolytique, sur des lames de plomb. On comprend aisément que, si l'on parvient à déposer à la surface d'une plaque de plomb une couche à la fois poreuse et adhérente de bioxyde de plomb, nous aurons réalisé ainsi une électrode positive ; de même en déposant une couche adhérente de plomb métallique pulvérulent poreux, nous obtiendrons une électrode négative.

Mais le bioxyde de plomb n'est pas une forme commerciale des oxydes de plomb et, en outre, l'adhérence de plomb pulvérulent serait une opération très difficile à réaliser.

Faure est cependant arrivé à résoudre le problème par une voie détournée : il s'est adressé aux oxydes commerciaux de plomb, litharge et minium.

Dans son premier modèle, les plaques étaient faites de la manière suivante : sur des plaques de plomb ordinaires, on appliquait une pâte épaisse composée d'oxyde de plomb, d'eau, d'acide sulfurique et d'un agglutinant convenable. A l'électrode positive était appliqué le minium, à la négative, la litharge. Le choix de ces deux oxydes est d'ailleurs adopté dans tous les modèles d'accumulateurs modernes.

Quand la pâte était sèche, on l'enveloppait dans un sac de feutre, solidement fixé à l'aide de rivets, et qui s'opposait ainsi au détachement de la pâte par l'eau. On faisait alors passer un courant, les plaques au minium étant reliées au pôle négatif d'une source primaire. Sous l'influence de l'électrolyse, le minium est peroxydé et transformé en oxyde pur, pendant que la litharge est réduite par l'hydrogène et est transformée en plomb poreux.

En quelques heures, l'accumulateur Faure était formé et, grâce à la grande quantité de matières actives agglomérées sur les plaques, il avait un pouvoir d'emmagasinement considérable, une grande capacité.

Mais le feutre qui enveloppait chaque plaque a l'inconvénient de s'altérer dans l'eau acidulée.

Sellon a apporté un heureux perfectionnement qui consiste à employer des grilles de plomb fondu dont les trous sont remplis par une pâte de minium ou de litharge, suivant la polarité des plaques. Ces grilles étant faites dans des moules, les barreaux des grilles ont la forme de losange, forme qui facilite leur sortie des moules ; mais la pâte se trouve logée dans une série de petits godets à parois latérales évasées ; elle n'est pas ainsi solidement fixée, et sous l'action du courant, le foisonnement des oxydes tend à la détacher.

On a imaginé un grand nombre de dispositifs pour maintenir solidement les matières actives contre les carcasses métalliques des électrodes ; nous ne signalerons que quelques-uns de ces procédés.

Dans le modèle de Reckenzaun, les électrodes sont faites avec de petits boudins en pâte d'oxyde de plomb qu'on sèche et qu'on place en rangées régulières, au milieu d'un moule dans lequel on coule du plomb : les boudins se trouvent ainsi emprisonnés et l'ensemble possède une grande souplesse et une grande solidité.

L'accumulateur Tudor, un des plus répandus actuellement, a ses électrodes formées de la façon suivante : des plaques de plomb épaisses sont pourvues de rainures profondes (fig. 14), très rapprochées et disposées horizontalement, dans lesquelles on mastique les matières actives. Les plaques sont ensuite écrasées afin d'assurer le maintien des oxydes.

Quand on commence à se servir de l'accumulateur Tudor, ses électrodes se comportent comme l'accumulateur de Faure, grâce aux oxydes ajoutés

artificiellement ; mais après quelques mois de service, elles se comportent comme l'accumulateur Planté : c'est l'oxyde formé par l'attaque des carcasses de plomb qui joue le rôle principal. Grâce à la grande épaisseur des

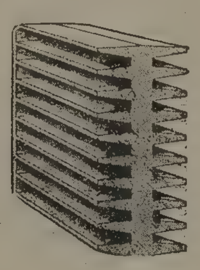


FIGURE 14.

plaques, 10 à 15 millimètres, la durée des accumulateurs Tudor est très grande ; le seul inconvénient, qui est grave dans certaines applications industrielles, c'est que le poids des plaques est considérable par rapport à la capacité utile.

Dans tous les accumulateurs, les plaques positives tendent à s'user plus vite que les négatives ; l'oxydation tend en effet à provoquer la chute de la matière active. A épaisseur égale, c'est la plaque négative qui est déchargée la première ; ainsi, lorsqu'un accumulateur est déchargé, il suffit de substituer aux électrodes négatives des plaques prises dans un autre accumulateur fraîchement chargé pour retirer encore de l'élément une quantité notable d'énergie. Ces considérations ont suggéré aux constructeurs la création de modèles variés d'accumulateurs que nous ne pouvons décrire ici, mais dont on trouvera la nomenclature dans les catalogues des différentes maisons.

§ 5. — **Réunion des éléments entre eux.**

Les plaques chargées de matières actives sont habituellement soudées à des bandes de plomb réunies par des boulons : dans certains modèles, elles portent à leur partie inférieure des pieds qui reposent sur le fond du récipient ; les bandes de plomb qui réunissent les lames de même nom par une soudure autogène, au lieu de sortir du vase, portent dans certains modèles des appendices cylindriques qui traversent un couvercle de bois fermant l'élément. Sur ces tiges sont fixés des anneaux de plomb dur au moyen de clavettes qui permettent de réunir facilement les éléments entre eux ; il n'y a pas ici d'oxydation, comme avec les écrous de cuivre.

Les connexions mobiles peuvent être complètement supprimées, comme cela existe dans le groupement de la figure 15 ; deux lames, une positive et une négative, sont jumellées par une bande arquée résultant de la soudure des appendices venus de fonte avec les plaques : chaque lame communique

ainsi individuellement avec une lame opposée de l'élément suivant, au lieu d'être réunies par groupes entre les éléments voisins. Si le montage et le nettoyage sont facilités par cette disposition, par contre, on est obligé de

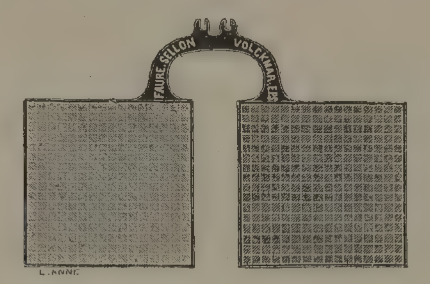


Figure 15.

dégarnir deux accumulateurs quand on veut en nettoyer un seul ; de plus, on ne peut pas voir et surveiller les différentes plaques, car celles-ci sont disposées parallèlement à la ligne de la batterie.

Le meilleur moyen d'établir les connexions consiste à employer la soudure autogène : toute altération des contacts est ainsi sûrement évitée (fig. 16).

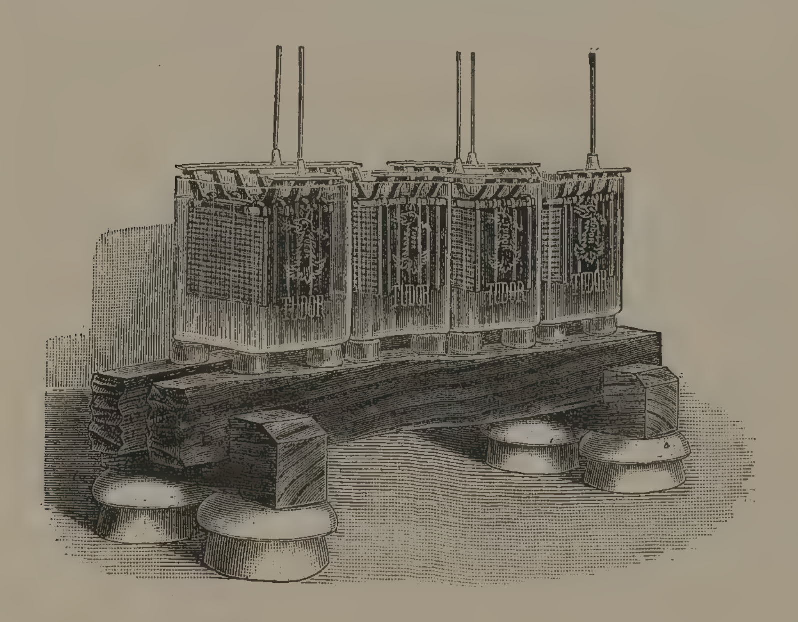


Figure 16.

Il est nécessaire de surveiller les batteries d'accumulateurs au point de vue de l'humidité ; il se fait souvent des pertes d'électricité provenant de ce manque de soins ; on évite ces pertes en plaçant chaque élément sur des isolateurs en porcelaine ou en verre paraffiné ; les isolateurs à rainure gar-

nie d'huile sont de moins en moins employés à cause de la difficulté de leur entretien. On peut encore faire reposer les récipients sur de la sciure de bois contenue dans de petits baquets en bois et isolés, mais on réserve surtout ce genre d'isolement pour les vases dont le fond est irrégulier.

Il faut encore avoir soin de placer les accumulateurs dans un endroit où n'arrivent pas les rayons du soleil qui produiraient fréquemment des ruptures.

Enfin, une précaution utile à connaître consiste à recouvrir le liquide des éléments avec une lame de verre ou mieux avec de la paraffine fondue dans le but d'éviter les projections de poussière liquide acide qui accompagnent la fin de la charge et qui endommagent les objets métalliques voisins.

§ 6. — Préparation du liquide des accumulateurs.

Nous avons vu que, pendant le fonctionnement d'un accumulateur, il se forme du sulfate de plomb, et que ce sulfate est ensuite réduit ; il en résulte que la proportion d'acide sulfurique varie continuellement. On doit donc remettre dans l'électrolyte une quantité d'acide telle qu'après la décharge il en reste encore suffisamment pour maintenir la conductibilité du liquide et assurer les réactions chimiques.

La proportion à employer doit correspondre à une densité comprise entre 1,12 et 1,22 ; le poids d'acide à employer pour cela est de 16 à 30 p. 100. L'acide doit être au soufre, exempt de produits arsénieux qui attaquent le plomb en circuit ouvert.

Le densimètre fournit un moyen commode pour apprécier le degré de charge des accumulateurs : on en trouve dans le commerce qui sont plats et qui peuvent facilement être mis entre les lames. On a aussi construit des densimètres avertisseurs qui signalent la fin de la charge et de la décharge. Nous reviendrons plus loin sur les soins que demandent la charge et la décharge des accumulateurs.

§ 7. — Fonctionnement des accumulateurs.

Lorsque l'on abandonne pendant quelque temps les accumulateurs à eux-mêmes, il se forme une croûte blanche adhérente à la surface des électrodes ; c'est du sulfate de plomb mauvais conducteur qui gêne beaucoup la charge : cette croûte apparaît surtout si on laisse les éléments se décharger complètement. On doit donc prendre la précaution de charger les accumulateurs qu'on veut laisser au repos et de les recharger au moins une fois par mois. La formation du sulfate est d'ailleurs retardée ou diminuée en ajoutant au liquide 1 p. 100 de sulfate de soude.

a) *Courant de charge*. Afin de diminuer le temps pendant lequel les accumulateurs ne sont pas utilisés, on a intérêt à augmenter autant que

possible l'intensité du courant pendant la charge. Il y a cependant une limite qu'il faut connaître. Si, en effet, le courant est trop intense, les réactions n'ont pas le temps de se produire sur les électrodes et une partie des gaz, oxygène et hydrogène, se dégagent en occasionnant une dépense d'énergie inutile, puisqu'il n'y a pas une restitution correspondante à la décharge.

Les réactions se font plus facilement au commencement qu'à la fin, parce que celles-ci portent tout d'abord sur la plaque, tandis que plus tard les réactions ont lieu dans les couches profondes. Logiquement, on devrait donc employer un courant de charge plus faible à la fin qu'au début, ou faire décroître progressivement le courant à mesure que la charge se fait. Mais le régime des machines qui produisent l'énergie qu'on doit emmagasiner dans les accumulateurs exige qu'on prenne un courant moyen et qu'on maintienne l'intensité constante. Cette valeur varie de 0,5 à 1,5 ampère par kilogramme de plaques, suivant le type employé.

b) Courant de décharge. Pour la décharge, les mêmes observations s'appliquent ; cependant, suivant l'utilisation de l'énergie emmagasinée, on est forcé d'adopter des régimes variables ; l'intensité qui convient le mieux à la décharge, c'est 1 à 2 ampères. L'inconvénient de faire débiter un courant trop fort aux accumulateurs, c'est que la transformation de l'acide en sulfate qui se produit à la décharge sera gênée par un afflux de l'acide insuffisant et sera limitée alors à la couche extérieure des oxydes.

§ 8. — **Force électromotrice des accumulateurs.**

Cette force électromotrice n'est pas constante : au début de la charge, elle s'élève rapidement jusqu'à 2,1 volts (fig. 17) ; la progression devient

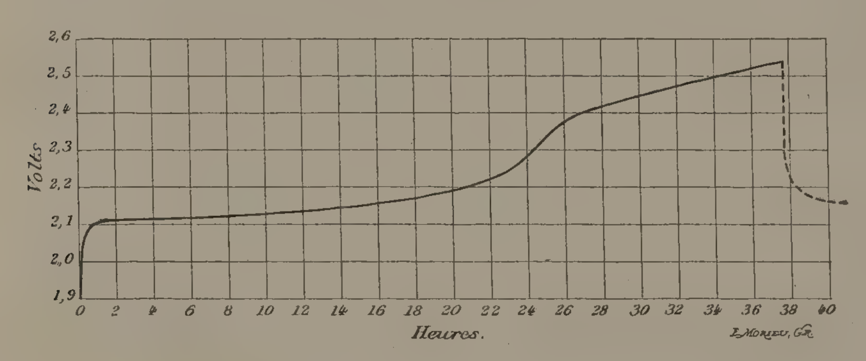


FIGURE 17 (*Éric Gérard*).

ensuite très lente et on ne constate un nouvel accroissement qu'à la fin de la charge, où la force électromotrice atteint la valeur de 2,3 à 2,4 volts.

Si on laisse l'accumulateur au repos, après la charge la force électromotrice tombe peu à peu à 2,1 volts ; cette valeur diminue ensuite très lente=

ment, ce qui est le résultat des actions locales produites au sein des électrodes, combinaison des matières actives avec l'acide sulfurique.

Pendant la décharge faite aussitôt après la charge, la force électromotrice acquiert subitement la valeur de 2,1 volts où elle reste longtemps ; elle décroît lentement jusqu'à 1,9 volt (fig. 18); à partir de cette valeur, elle descend très rapidement ; on ne doit pas laisser la force électromotrice des accumulateurs devenir plus faible que 1,85 volts, autrement le rendement diminue beaucoup et en outre on constate sur les négatifs la formation d'une croûte de sulfate de plomb, qui s'écaille et tombe au fond du récipient.

Si, cependant, on abandonne un élément à lui-même après avoir poussé la décharge aussi loin que possible, on constate, chose curieuse, que la force électromotrice remonte peu à peu presque vers 2 volts. L'explication de ce phénomène est la suivante : la chute de force électromotrice est due à la

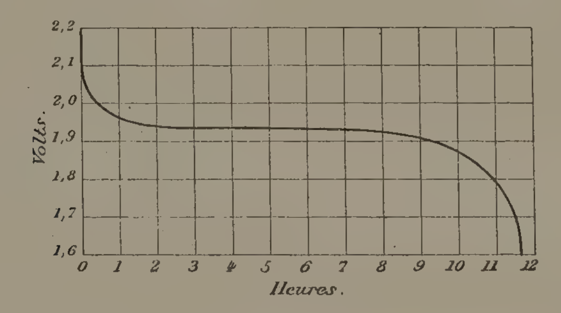


FIGURE 18 (*Éric Gérard*).

formation d'eau oxygénée au niveau de l'électrode négative ; si la décharge cesse, il y a diffusion de l'eau oxygénée dans le liquide, ce qui ramène la force électromotrice à sa valeur normale.

Ce relèvement de la force électromotrice après la décharge rappelle tout à fait ce qu'on observe après la décharge des condensateurs et qu'on appelle l'électricité résiduelle. Dans l'un et l'autre cas, il y a un résidu d'énergie qui apparaît après la décharge.

La composition de l'électrolyte d'un accumulateur variant pendant le fonctionnement, il en résulte que la résistance intérieure varie elle aussi, nécessairement. Cette résistance peut être déterminée en observant successivement la différence de potentiel aux bornes à circuit ouvert et à circuit fermé et l'intensité du courant dans ce dernier cas. Cette résistance intérieure est de 0,12 ohm par décimètre carré de surface totale des plaques positives à la charge et de 0,08 ohm à la décharge.

Fin de la charge. La fin de la charge des accumulateurs, ainsi du reste que la fin de la décharge, doivent être surveillées soigneusement si l'on veut conserver les accumulateurs en bon état et avec leur rendement initial. Un bon moyen pour connaître le moment où l'on doit arrêter le courant

de charge consiste à déterminer, à l'aide du voltmètre, la force électromotrice de chaque accumulateur : on doit trouver 2,3 à 2,4 volts lorsque la charge est complète : avec les accumulateurs à formation Planté et l'élément Tudor il faut attendre que le voltmètre marque 2,6 volts.

Une seconde manière d'être renseigné exactement sur la fin de la charge résulte de ce que nous avons dit plus haut : le densimètre doit marquer, à la fin, 1,18 à 1,22, suivant la teneur et la quantité de l'électrolyte.

Un troisième caractère se tire de l'observation des éléments eux-mêmes : le courant est utilisé sur les électrodes tant que les matières actives de celles-ci sont le siège de réactions chimiques. Lorsque leur transformation est complète, l'énergie électrique n'étant plus employée à former des composés, s'emploie inutilement à électrolyser l'eau comme dans un voltamètre à électrodes de platine : il y a dégagement d'hydrogène et d'oxygène. Ce dégagement de bulles gazeuses donne au liquide de l'accumulateur un aspect laiteux caractéristique, et si le courant de charge n'est pas trop fort, on peut considérer ce signe-là comme excellent. Mais il faut que l'intensité corresponde au régime indiqué pour la charge; si elle était trop grande, il y aurait foisonnement et aspect laiteux dès le début, car dans ces conditions l'énergie électrique ne pourrait pas toute s'emmagasiner sous forme de composés solides et une partie serait utilisée à décomposer l'eau en ses éléments.

Il y a un quatrième signe de la fin de la charge qui est souvent employé par les ouvriers électriciens : il repose sur la variation de l'acidité du liquide pendant la charge ; à mesure que celle-ci devient plus complète, le liquide s'enrichit en acide. On peut donc avec quelque habitude suivre les degrés de la charge en goûtant le liquide ; c'est ce que font certains électriciens.

Une remarque qu'il n'est pas inutile de faire ici, c'est que la charge d'une série d'accumulateurs placés en tension ne dépense pas plus d'énergie électrique que la charge d'un seul accumulateur.

Ce résultat s'explique aisément : pendant la charge d'accumulateurs, l'intensité est la même en tous les points du circuit : c'est donc le même courant qui passe dans tous les éléments, et lorsque l'un d'eux est chargé, tous le sont. Si un régime de charge d'un accumulateur est de 6 ampères par exemple, c'est cette même intensité qu'il faudra faire passer quel que soit le nombre des éléments.

Il en résulte que la capacité de ces accumulateurs réunis en tension est la même que celle d'un seul élément. C'est qu'un accumulateur n'emmagasine pas l'électricité comme un réservoir emmagasine de l'eau, et que le mot capacité n'a pas ici le même sens qu'en hydraulique : ce qu'emmagasine l'accumulateur, ce n'est pas l'électricité considérée comme une matière assimilable à un liquide par exemple, mais bien l'énergie électrique.

Fin de la décharge. Il faut surveiller avec autant de soin la décharge que la charge : nous n'avons que peu de choses à dire sur ce point. Le courant à faire débiter aux accumulateurs a été plus haut l'objet de considérations

suffisantes : nous n'y reviendrons pas. On doit avoir soin d'interroger de temps en temps la force électromotrice de chaque élément ; c'est la seule manière de se rendre compte de l'état de la charge restante. Lorsque le voltmètre indique 1,85 volt, on doit recharger la batterie. C'est le seul signe sûr de la fin de la décharge.

§ 9. — **Rendement des accumulateurs.**

Lorsqu'on fait débiter à un élément un courant d'un ampère par kilogramme de plaques, sa capacité utile est estimée à environ 9 ampères-heures par kilogramme : les éléments Planté donnent seulement environ 4,5 ampères-heures par kilogramme.

L'énergie utile restituée peut se déduire de ces données ; la force électromotrice moyenne étant de 1,9 volt à la décharge, l'énergie spécifique par kilogramme de plaques est de 17 watts-heures ou 0,06 mégajoule pour les premiers éléments, tandis que pour les accumulateurs Planté l'énergie spécifique est de 8,5 watts-heures.

Il est facile de connaître la puissance spécifique d'un accumulateur, c'est-à-dire la puissance qui correspond à 1 kilogramme de plaques : la densité du courant de décharge est en moyenne de 1,5 ampère. Il en résulte que la puissance spécifique est de $1^v,9 \times 1^a,5 = 2,85$ watts.

On appelle *rendement en énergie* d'un accumulateur le rapport entre l'énergie restituée à la décharge et l'énergie fournie pendant la charge. L'accumulateur restituant l'énergie sous une tension plus faible que celle de la charge, il en résulte que le rendement en énergie est toujours plus petit que le *rendement en quantité*, ce dernier étant le rapport de la quantité d'électricité restituée à la quantité accumulée. Soit E la force électromotrice moyenne pendant la charge et Q la quantité fournie à la charge ; E' et Q les mêmes grandeurs pendant la décharge : l'énergie dépensée à la charge est E.Q ; l'énergie restituée à la décharge est E'.Q'. Le rendement en énergie est par suite

$$R = \frac{E'}{E} \times \frac{Q'}{Q}.$$

Or, $\frac{Q'}{Q}$ est le rendement en quantité, appelons-le R' : la formule précédente devient

$$R = R'.\frac{E'}{E}.$$

La valeur de R' est souvent égale à 90 p. 100 ; quant à E et E', leurs valeurs respectives moyennes peuvent être prises égales à 2,1 volts et 1,9 volt.

Le rendement en énergie est alors

$$R = 0,90 \times \frac{1,9}{2,1} = 0,80.$$

La valeur de ce rendement va en augmentant de jour en jour, grâce aux

progrès réalisés dans la construction des accumulateurs ; le nombre de 85 p. 100 est courant aujourd'hui, alors qu'au début des éléments à formation artificielle l'énergie restituée atteignait à peine la moitié de celle qu'on avait dépensée.

§ 10. — **Nécessité de la surveillance des accumulateurs.**

Les indications que nous avons précédemment fournies relativement à la charge et à la décharge doivent être scrupuleusement suivies si l'on veut conserver longtemps un ou plusieurs accumulateurs. La durée d'une batterie d'accumulateurs pourra être grande, si son fonctionnement est régulier et bien surveillé; on doit pour cela s'assurer que la force électromotrice de chaque élément a bien sa valeur normale, car il arrive assez fréquemment que cette force électromotrice diminue dans un des éléments de la batterie. Si l'un d'eux est trouvé défectueux, on cherche à se rendre compte de la cause qui a ainsi fait baisser sa tension : une pastille d'oxyde peut s'être détachée et avoir mis les plaques en court-circuit ; on la fait alors tomber au fond du vase avec une baguette de verre. Si les plaques sont trop incurvées ou s'il s'est fait sur leur surface un dépôt trop abondant de sulfate blanc, on les sort pour les redresser une à une, ou on les gratte avec une brosse forte ; il faut, dans ce dernier cas, renouveler la solution électrolytique.

On doit encore observer la couleur et l'état de la surface des plaques ; nous avons vu en effet que, si les décharges sont trop prolongées ou si les éléments sont restés longtemps déchargés, du sulfate de plomb se dépose sur les plaques. Il peut arriver que des boursouflures apparaissent sur les lames : c'est là un signe grave, car il indique la chute prochaine des matières actives, et dont la cause est due à un défaut de qualité des plaques.

La durée des accumulateurs bien surveillés peut atteindre plusieurs années ; les plaques positives durent quatre à cinq ans dans les bons éléments ; les plaques négatives ont un travail chimique moins énergique à fournir, leur durée peut aller jusqu'à dix ans. Le temps pendant lequel peuvent fonctionner des accumulateurs dépend d'ailleurs de ce qu'on leur demande : ainsi ce temps est plus court pour les accumulateurs servant à la traction électrique par exemple, que pour ceux qui servent à un médecin pour produire du courant continu ou pour exciter une bobine de Ruhmkorff, à condition cependant que ces derniers soient soigneusement surveillés.

TROISIÈME SECTION. — DYNAMOS A COURANT CONTINU ET COURANT INDUSTRIEL

La source de courant continu qui tend de plus en plus à s'introduire en électricité médicale, c'est le courant des Compagnies d'électricité ou *courant industriel*. Ce courant, qui est amené à chaque maison des grandes villes,

est tantôt du courant continu, tantôt du courant alternatif. Nous ne nous occuperons dans ce chapitre que du courant continu.

§ 1. — Considérations générales.

Une machine dynamo comprend essentiellement deux organes : l'*inducteur*, dont le rôle est de créer le champ des lignes de force, et l'*induit* formé de conducteurs fermés dans lesquels se développent le courant induit et la force électromotrice d'induction.

Le champ inducteur peut être produit soit par des aimants permanents, soit par des électro-aimants. Mais les lignes de force émanées des pôles des aimants permanents sont beaucoup moins denses que celles qui émanent des électro-aimants. Par conséquent, c'est à ces derniers inducteurs que l'on doit s'adresser pour obtenir des champs très intenses, comme ceux que comportent les puissantes machines industrielles. Si l'on voulait produire des champs de même puissance avec des aimants permanents, il faudrait les prendre sous un poids et sous un volume trop considérables. C'est pour cela que les machines magnétos sont complètement délaissées aujourd'hui et remplacées par les dynamos.

§ 2. — Description d'une dynamo.

L'électro-aimant créateur du champ constitue en général la carcasse de la machine et fait partie intégrante du bâtis qui porte les paliers et les coussinets dans lesquels tourne l'arbre de l'induit mobile. La forme des inducteurs est très variée ; la plus employée cependant est celle du fer à cheval ; dans ce cas, l'inducteur se compose de trois parties bien distinctes : 1° les *noyaux* M et N (fig. 19), sur lesquels s'enroulent les spires des solénoïdes

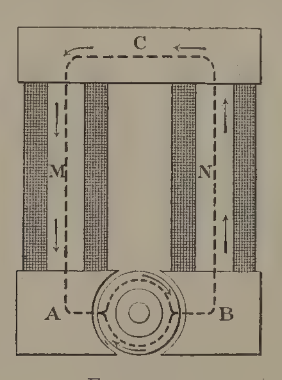


FIGURE 19.

inducteurs ; 2° la *culasse* C, qui réunit les deux noyaux ; 3° les pièces polaires A et B.

Lorsqu'un courant traverse les solénoïdes inducteurs, le flux se développe dans les noyaux et se propage dans le sens des flèches marquées sur l'axe

du faisceau des lignes de force, du pôle Nord au pôle Sud *entre les pièces polaires*, et du pôle Sud au pôle Nord à travers la culasse *à l'intérieur de l'inducteur*.

La place que doit occuper l'induit, c'est nécessairement l'espace compris entre les deux pôles de l'inducteur : son mouvement de rotation sera tel que le nombre des lignes de force traversant le plan de chaque spire induite aille en passant par un maximum et par zéro ; il faudra donc disposer l'axe de rotation perpendiculairement à la ligne des pôles. Comme la surface du solide engendré par la rotation est celle d'une sphère ou plus habituellement d'un cylindre, il est nécessaire d'aléser les pièces polaires de façon à ce que les spires de l'induit coupent les lignes de force le plus près possible de leur émergence. Aussi voit-on dans toutes les dynamos les pièces polaires évidées suivant deux demi-cylindres embrassant la trajectoire cylindrique du conducteur.

On appelle *entrefer* la portion du circuit magnétique constitué par l'intervalle d'air compris entre les deux surfaces concaves des pôles. Il est important de rendre l'entrefer aussi faible que possible pour éviter une trop grande dépense d'énergie. S'il n'y avait que l'induit dans cet entrefer, la densité du flux serait faible suivant la plus grande partie de la trajectoire des spires, car les lignes de force s'accumulent de préférence vers les becs des pièces polaires ; on a donc été conduit à combler pour ainsi dire le vide entre-polaire par un pont magnétique, constitué par un cylindre de fer N'S' (fig. 20) qui sert en même temps à fixer les spires de l'induit ; ce cylindre

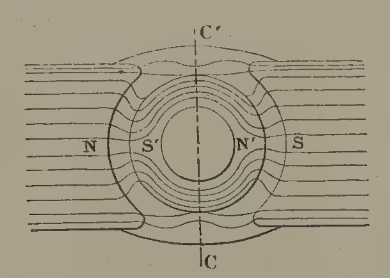


FIGURE 20.

remplit l'intervalle en laissant seulement l'espace annulaire nécessaire pour loger l'épaisseur du circuit induit.

Ce véritable pont magnétique a reçu le nom d'*armature :* il joue en effet le rôle d'une armature d'électro, en fermant presque entièrement le circuit magnétique ; l'armature a généralement la forme d'un manchon plus ou moins allongé, à parois épaisses. La fixation des spires constituant l'induit ou le noyau n'est pas absolument nécessaire : on pourrait faire tourner ces conducteurs dans l'entrefer en laissant le noyau immobile. Mais il y a dans la pratique de grandes difficultés pour réaliser cette disposition ; aussi utilise-t-on toujours le noyau pour servir de support aux conducteurs induits, en sorte que l'armature et le circuit induit tournent simultanément.

On conçoit d'ailleurs aisément que le flux magnétique n'est pas déformé par le mouvement de rotation de l'armature : que celle-ci soit au repos ou qu'elle tourne, comme sa forme est cylindrique, elle occupe toujours dans l'espace le même volume annulaire et le flux se divise en deux parties égales, l'une dans la moitié supérieure, l'autre dans la moitié inférieure.

Le fer doux dont l'armature est formée s'aimante entre les pièces polaires et prend deux pôles N′ et S′ situés *toujours* sur l'axe polaire NS, quel que soit l'état de l'anneau, au repos ou en mouvement.

Bien que le flux inducteur soit fixe dans l'espace, il traverse les différentes molécules de l'anneau dans un ordre qui varie sans cesse, pendant que ces molécules se rapprochent et s'éloignent des points S′ et N′ qui correspondent à l'aimantation maxima, ou des points C et C′ situés sur l'axe neutre de l'aimant annulaire. Ce qui veut dire que l'aimantation d'une même molécule du noyau change deux fois de sens par tour, en passant par zéro aux points C et C′ correspondant au plan perpendiculaire à l'axe polaire inducteur.

Les conducteurs induits peuvent avoir deux orientations différentes par rapport à l'axe de rotation : ou bien ces conducteurs sont fixés sur le noyau *parallèlement* à l'axe de rotation, ou bien ils sont fixés *perpendiculairement* à cet axe, mais toujours les conducteurs formant les spires induites doivent couper normalement les lignes de force du champ inducteur.

La première des positions correspond aux cas où le conducteur décrit un cylindre ; il faut alors que les pièces polaires soient évidées et qu'une armature comble l'entrefer.

Dans le deuxième cas, les conducteurs décrivent dans leur mouvement de rotation la surface d'un disque qui serait placé entre deux groupes de pôles aplatis ; les pièces polaires étant planes peuvent être alors très rapprochées l'une de l'autre, à la distance juste égale à l'épaisseur des conducteurs augmentée simplement du jeu nécessaire.

L'entrefer est ainsi réduit au minimum et il est inutile alors d'intercaler une carcasse de fer entre les pièces polaires ; si bien que les conducteurs peuvent être fixés sur toute autre substance que le fer.

§ 3. — **Mécanisme de la production du courant.**

Quel que soit le type considéré, les courants qui prennent naissance dans les conducteurs induits des dynamos obéissent aux lois de l'induction et à la loi de Lenz en particulier ; pour arriver à comprendre la production des courants des dynamos, nous prendrons le premier type où les fils induits sont parallèles à l'axe de rotation et fixés sur une armature cylindrique en fer doux.

Supposons qu'une seule spire dont la section est *aa*′ (fig. 21), soit fixée sur le noyau auquel est imprimé un mouvement de rotation suivant la flèche, c'est-à-dire dans le sens des aiguilles d'une montre ; le conducteur *aa*′ est

d'abord dans le plan NS, puis il tourne en devenant de plus en plus oblique aux lignes de force du champ pour venir occuper un plan XY perpendicu-

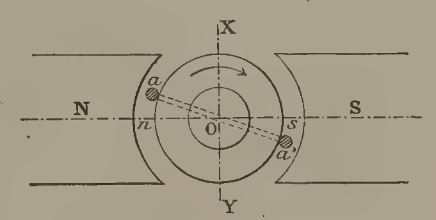


Figure 21.

laire à la direction du champ. On voit que pendant cette première partie de sa révolution le plan de la spire est traversé par un nombre croissant de lignes de force.

Continuons à faire tourner le noyau ; à mesure que la spire *aa'* s'éloigne de la ligne XY, le nombre des lignes de force ou le flux magnétique va en diminuant pour atteindre la valeur zéro, quand *a'* est arrivé en *n* et *a* en *s*.

Pendant la deuxième moitié de la révolution, les mêmes phénomènes se manifestent : le flux va en augmentant jusqu'à la position YX, puis en diminuant pour reprendre la valeur zéro quand la spire est revenue à sa position initiale *ns*.

Force électromotrice induite.

Quelles sont les valeurs de la force électromotrice d'induction pendant ce mouvement de rotation de la spire dans le champ NS ? Il est important de remarquer que la grandeur de cette force électromotrice dépend de la variation du nombre des lignes de force ou du flux. Ainsi, dans la position *aa'*, le flux est presque minimum, mais comme le moindre déplacement à partir de cette position amène une grande variation dans le nombre de lignes de force qui traversent le plan de la spire, c'est à ce moment que la force électromotrice est maxima.

Dans le plan XY ou dans son voisinage, au contraire, le flux est maximum, mais les conducteurs formant la spire glissent pour ainsi dire entre les lignes de force en se déplaçant parallèlement à elles ; aussi la force électromotrice est-elle à ce moment-là nulle. Par conséquent, au flux minimum correspond la force électromotrice maxima, et, inversement, la force électromotrice est nulle pour le flux maximum.

Il est facile de voir que le sens du courant induit dans la spire *aa'* change de sens lorsque le plan de cette spire passe en XY ; c'est pour cette raison qu'on a donné à cette ligne XY le nom de *ligne de commutation* ou de *ligne neutre*.

La force électromotrice d'induction conserve donc le même sens dans chaque demi-circonférence située de part et d'autre de la ligne neutre et change de sens quand la spire est placée dans le plan de XY.

Demandons-nous maintenant quelle est la forme du courant obtenu par la rotation de la spire aa' dans l'entrefer d'une dynamo, c'est-à-dire cherchons à représenter graphiquement la variation de la force électromotrice en fonction du temps. Supposons, pour la commodité de cette représentation, que les lignes de force du champ sont verticales, les pôles étant en N et S (fig. 22) ; la ligne neutre est alors xy horizontale. Décrivons une circonférence avec un rayon OB proportionnel à la force électromotrice

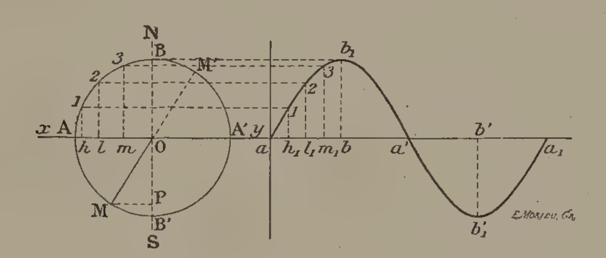


FIGURE 22.

maxima ; si on prend ce rayon pour unité, la longueur de la circonférence est égale à 2π. On démontre facilement que la valeur de la force électromotrice induite est, pour une position déterminée de la spire, égale à la projection sur la ligne BB′ du rayon de la circonférence aboutissant à la position d'un des conducteurs formant cette spire. Ainsi, quand le plan de la spire est en MM′, la force électromotrice a pour valeur la longueur OP. Désignons par T le temps employé pour un tour de la spire ; le chemin fait par chaque conducteur formant la spire dans un tour est 2π ; par suite, l'arc parcouru dans une seconde est $\frac{2\pi}{T}$. Ce chemin correspond à l'angle $\frac{360}{T}$ qu'on appelle la vitesse angulaire ω.

Si la vitesse de rotation est uniforme, ce que nous supposons, les parcours effectués sur la circonférence sont proportionnels aux temps correspondants, si bien que les diverses fractions des temps d'un tour peuvent être représentées par les fractions d'arc de circonférence. On donne au temps T mis pour un tour complet de la spire le nom de *période*. Nous pouvons développer sur la droite xy prolongée la circonférence de rayon OB et dont la longueur est 2π : soit aa_1 cette longueur. La demi-période $\frac{T}{2}$ est alors la longueur aa_1 ; un quart de période est ab, etc.

Divisons la circonférence en arcs égaux par les points 1, 2, 3, etc.

Les points correspondants de la droite aa_1 diviseront aussi cette droite en parties (ou fractions de temps) égales. Élevons en chacun de ces points équidistants des perpendiculaires sur aa_1 égales aux ordonnées $h1$, $l2$, $m3$ et nous obtiendrons en $h_1 1$, $l_1 2$, $m_1 3$, les valeurs successives de la force électromotrice induite.

En réunissant par une ligne continue les différents points obtenus, on a la représentation graphique de la force électromotrice à tous les instants d'une révolution complète de la spire.

On voit bien ainsi que la force électromotrice passe par deux maxima en bb_1 et $b'b'_1$ aux deux passages de la spire dans le plan NS et qu'elle s'annule chaque fois que la spire passe par le plan de la ligne neutre XY. On remarquera en outre que la force électromotrice change de sens au moment où la spire coïncide avec XY, mais elle conserve les mêmes valeurs absolues après comme avant le passage à la ligne neutre. Dans le cas considéré, le temps périodique est égal à celui d'un tour, en sorte que le nombre de périodes en une seconde est le même que celui qui représente les tours dans ce même temps.

Mais si nous avions quatre pôles au lieu de deux, il y aurait quatre espaces interpolaires et, par suite, deux périodes complètes par seconde. Donc, en général, dans les machines multipolaires le nombre de périodes par tour est égal au nombre de paires de pôles de la machine.

On appelle *fréquence* ou *périodicité* le nombre de périodes par seconde; si le temps d'une période est T, la fréquence sera $\frac{1}{T}$. Pour une machine ayant 8 pôles dont 4 nord et 4 sud, faisant 15 tours en une seconde, la fréquence est égale $4 \times 15 = 60$ périodes; cette fréquence correspond à $60 \times 2 = 120$ changements de sens de la force électromotrice ou *alternativités*.

La force électromotrice variable ou instantanée d'un courant peut être exprimée, à chaque instant, en fonction de la force électromotrice maxima représentée par l'ordonnée b_1b de la courbe ci-contre; si on appelle K un coefficient variable avec le temps de la période de 1 à 0, comme les diverses ordonnées de la courbe, on peut écrire :

$$e = K.E \text{ max.}$$

Pour l'ordonnée égale à la moitié de l'ordonnée maxima ou pour $K = \frac{1}{2}$, la force électromotrice instantanée sera :

$$e = \frac{E \text{ max}}{2}.$$

Cette force électromotrice correspond au moment où le plan de la spire fait un angle de 30° avec la ligne neutre.

§ 4. — Moyen pour recueillir le courant produit et le rendre continu.

Le fil conducteur dans lequel se développe la force électromotrice d'induction étant mobile, il faut relier ce conducteur au circuit extérieur d'utilisation au moyen de contacts mobiles. Le procédé adopté dans toutes les dynamos consiste à souder les extrémités de la spire à deux bagues de cuivre C, C', fixées sur l'arbre de rotation et isolées.

La connexion avec le circuit extérieur se fait au moyen de deux

balais B, B′ qui s'appuient sur les bagues et maintiennent ainsi la constance du contact. La figure 23 fait bien comprendre ces connexions : elle représente la coupe par un plan horizontal de l'anneau et de l'entrefer au niveau de l'axe de rotation RR′.

Avec cette disposition de deux bagues isolées, on recueille dans le

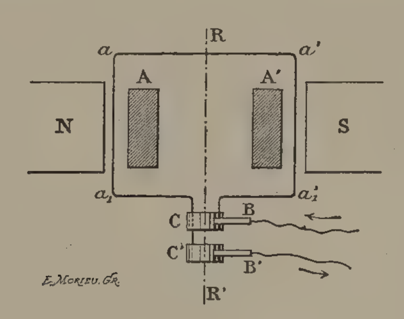


Figure 23.

circuit extérieur le courant tel qu'il se produit : celui-ci est alternatif et périodique.

Ce renversement périodique du sens du courant n'a pas d'inconvénients si l'on destine l'énergie électrique à l'éclairage ou à la force motrice, mais il est possible d'obtenir un courant conservant toujours le même sens ; les dynamos peuvent en d'autres termes parfaitement servir de sources de courant continu. C'est ce que nous allons voir maintenant : il faut pour cela nécessairement redresser les courants de manière à les diriger continuellement dans le même sens, à leur entrée dans le circuit d'utilisation.

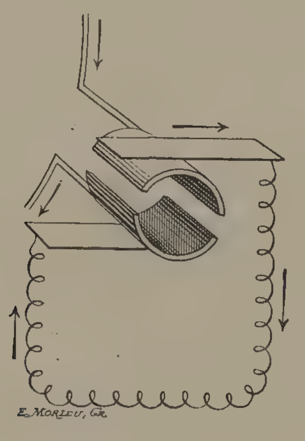


Figure 24.

Pour arriver à produire ce redressement, on remplace les deux bagues précédentes par un collecteur formé de deux demi-cylindres de cuivre ayant le même axe et isolés par deux sections pratiquées suivant deux génératrices diamétralement opposées (fig. 24).

Les dispositions doivent être telles que les conducteurs de la spire soient situés dans le plan de commutation en même temps que le contact des balais se fait suivant les lignes de sectionnement des deux cylindres.

Pendant la rotation de l'anneau et du collecteur, on voit qu'à un moment donné et durant un temps très court chacun des balais sera à cheval sur les deux demi-cylindres à la fois, de sorte que tout se passera comme si les deux pièces étaient soudées par l'intermédiaire de ces balais, et il se fera un court-circuit intérieur. Comme d'ailleurs à cet instant les conducteurs sont dans le plan neutre, ils ne sont le siège d'aucune force électromotrice, et si la self-induction n'existait pas, le courant s'accumulerait également dans le circuit considéré. Si l'on fait abstraction des phénomènes de self, on remarquera que le court-circuit se prolongera d'autant plus que la fente de sectionnement du collecteur sera plus large et occupera une fraction plus considérable de la circonférence du cylindre. Ce court-circuit serait presque instantané si la fente était réduite à une ligne géométrique, mais on est obligé de lui donner une largeur assez sensible afin d'assurer l'isolement.

Quoi qu'il en soit, par le jeu même du commutateur qui a pour effet d'intervertir les communications des balais et des secteurs au moment où le courant change de sens dans l'induit, un des balais reste constamment en relation avec un conducteur positif, l'autre avec un conducteur négatif ; le courant est donc ainsi toujours de même sens dans le circuit extérieur puisque les balais conservent toujours la même polarité. Les forces électromotrices redressées peuvent être représentées par la série des courbes suivantes (fig. 25) : il suffit pour les obtenir de redresser la partie négative des courbes alternatives déjà étudiées et de la reporter en dessus de l'axe des temps.

Cependant, à cause des phénomènes de self-induction, le courant ne s'annule jamais et la courbe présente des angles arrondis sans descendre

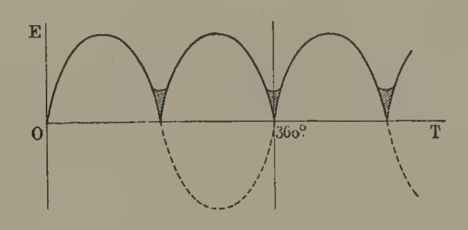


FIGURE 25.

jusqu'à l'axe des temps. La self a aussi pour effet de retarder le courant par rapport à la force électromotrice, de telle sorte qu'en réalité la courbe qui représente l'intensité ne se confond pas avec celle de la force électromotrice, la première étant en retard sur la seconde. Ces deux courbes sont, comme on dit, décalées, l'une par rapport à l'autre, d'un certain angle de phase.

§ 5. — Forme du courant des dynamos.

Par le dispositif employé, le courant n'est plus alternatif puisque la force électromotrice conserve toujours le même signe ; mais l'intensité n'est pas arrivée à une valeur constante, puisqu'elle subit des ondulations à chaque passage de la spire dans le plan de commutation.

Pour obtenir la constance du courant engendré dans une dynamo, il faut relier en série un certain nombre de spires réparties sur le pourtour du noyau de façon à ce que leurs forces électromotrices s'additionnent.

Supposons que sur le noyau deux spires identiques à celle unique que nous avons considérée jusqu'à présent soient fixées de manière à ce que leurs plans soient rectangulaires ; ces spires seront le siège d'un courant pendant la rotation de l'anneau, mais les forces électromotrices développées dans chaque spire seront décalées l'une par rapport à l'autre, c'est-à-dire qu'elles seront à chaque instant à des phases différentes de leur période : comme dans l'exemple choisi, les deux spires sont décalées de 90° puisque leurs plans sont perpendiculaires entre eux, il en résulte que les forces électromotrices seront représentées par les courbes pleine et pointillée suivantes (fig. 26).

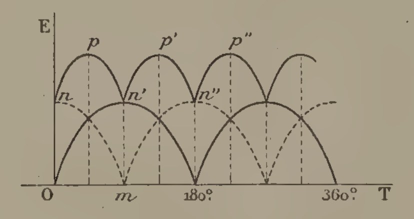


FIGURE 26.

La force électromotrice résultante s'obtient en ajoutant deux à deux les ordonnées correspondantes de ces courbes ; la forme du courant est alors représentée par la courbe $npn'p'n''$ située au-dessus des deux premières. On voit que les ordonnées de cette dernière courbe ne varient plus de zéro à une ordonnée maxima mn, mais seulement de n à p.

Les variations du courant sont donc beaucoup moins grandes que lorsqu'il n'y avait qu'une seule spire enroulée sur le noyau.

Ajoutons, sur ce même noyau, deux autres spires dont les plans seront encore rectangulaires et équidistants des deux premières spires déjà fixées ; la force électromotrice engendrée dans ces deux nouvelles spires va être représentée par une courbe identique à la résultante précédente, dont les ordonnées varient de n à p, mais cette courbe sera décalée par rapport à la précédente de 45° ; c'est la courbe figurée en pointillé (fig. 27).

En combinant ces deux courbes comme on l'a fait déjà, on obtient la forme du courant engendré dans les quatre spires fixées sur l'anneau ; les ondulations sont, on le voit, plus rapprochées, et de plus les ordonnées

maxima et minima ne varient que de la hauteur de la branche pq. On peut donc réduire de plus en plus les oscillations de la force électromotrice de

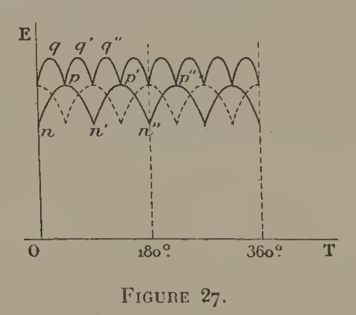


FIGURE 27.

façon à obtenir une courbe très légèrement ondulée tendant à se rapprocher d'une droite : il suffira pour cela *d'augmenter le nombre des spires* fixées sur le noyau.

Enroulements de l'induit.

1° ENROULEMENT SIEMENS. La disposition des spires que nous avons supposée jusqu'à présent est ce qu'on appelle l'*enroulement Siemens ;* cet enroulement est complètement extérieur à l'armature. Chaque spire se compose de deux fils AB et *ab* menés suivant les génératrices de l'armature et de deux autres fils de connexion A*a* et B*b*.

Il faut remarquer que les deux parties de chaque spire sont à chaque instant le siège de forces électromotrices de sens contraire qui, dans la spire, concordent et s'ajoutent grâce aux fils de connexion, ainsi que l'indiquent les flèches (fig. 28).

Au lieu de n'enrouler qu'un fil sur l'armature, il est évidemment plus

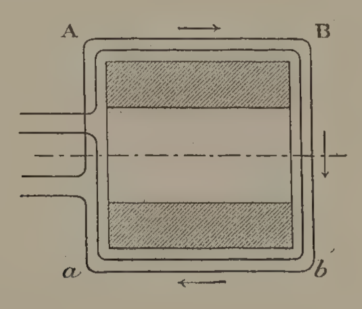


FIGURE 28.

avantageux de constituer plusieurs spires avec le même fil ; les phénomènes d'induction sont alors beaucoup plus marqués.

Pour les connexions à établir entre les spires et le collecteur sur lequel frottent les balais, il suffit de se reporter à la figure 29 pour comprendre com-

ment on les dispose. Chaque série de spires (qu'on appelle une bobine) est reliée à une lame du collecteur.

L'armature, dans l'enroulement Siemens, est en général très allongée et les parties utiles des fils ont un développement supérieur à celui des connexions menées sur les bases du noyau (fig. 30).

La construction de cet enroulement est assez compliquée et la stabilité

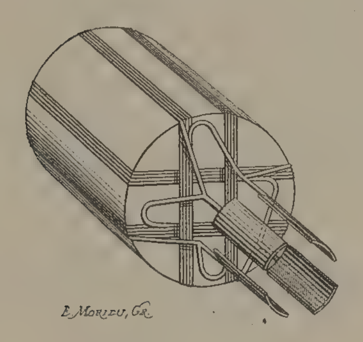




FIGURE 29.

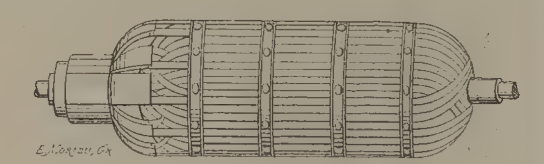


FIGURE 30.

des fils sur la surface supérieure de l'armature est difficile à assurer. De plus, comme dans cet enroulement le diamètre du fil doit être petit par rapport à sa longueur pour que l'utilisation en soit bonne, il en résulte qu'on doit prendre de grandes vitesses angulaires pour obtenir une vitesse périphérique convenable de 15 à 20 mètres par seconde. Il faut encore remarquer que les fils de connexion situés aux deux bases de l'armature sont enchevêtrés, et que par suite des conducteurs à des potentiels très différents sont très voisins ; ce voisinage peut occasionner des étincelles d'un fil à l'autre à travers les couches isolantes. Chaque fois donc que l'on voudra obtenir des courants de haute tension, on ne devra pas utiliser l'enroulement Siemens.

2° ENROULEMENT GRAMME. Il existe un autre mode d'enroulement qu'on appelle l'*enroulement Gramme*. Sur le noyau de fer doux, on enroule les spires de façon à recouvrir entièrement la surface ; on a ainsi un circuit fermé sur lui-même. Dans ces conditions, chacune des spires sera le siège d'une force électromotrice comme dans les spires précédemment considérées ; ces forces électromotrices, ainsi qu'il serait facile de le montrer, sont égales et opposées dans chacune des moitiés de l'anneau, de part et d'autre de la ligne XY (fig. 31). Les diverses spires sont le siège de forces électromotrices individuelles qui s'ajoutent dans chaque moitié de l'enroulement ; en sorte qu'on peut assimiler chaque spire à une source d'électricité, à un véritable élément de pile et l'ensemble à une batterie dont les deux moitiés seraient réunies *en opposition ;* dans ces conditions, les forces électromotrices se contre-balancent et il ne se produit aucun courant. Mais si l'on réunit par un circuit extérieur les deux points où a lieu l'opposition des deux moitiés de l'enroulement, on offrira une issue au courant dont l'inten-

sité sera doublée, tandis que la force électromotrice sera due uniquement à celle engendrée par une des moitiés de l'enroulement.

L'enroulement Gramme est donc assimilable à deux batteries de pile en

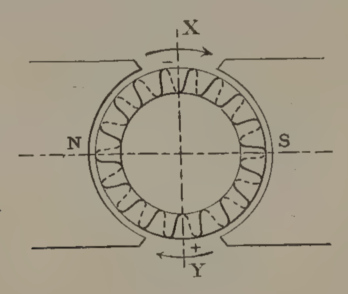


FIGURE 31.

dérivation qui déterminent, aux points de raccordement placés sur l'axe neutre, deux pôles, positif et négatif, entre lesquels existe une différence de potentiel développée par la moitié des spires de l'induit; chacune des moitiés de l'enroulement est parcourue par la moitié du courant extérieur.

Pour recueillir le courant, il suffirait donc de placer aux points où la ligne XY rencontre l'anneau des frotteurs reliés au circuit extérieur; mais pour cela, il faudrait que les spires fussent nues. En général, ces spires sont isolées et l'on a recours alors au *collecteur sectionné* (fig. 32): il se compose de plusieurs lames métalliques isolées l'une de l'autre et disposées de ma-

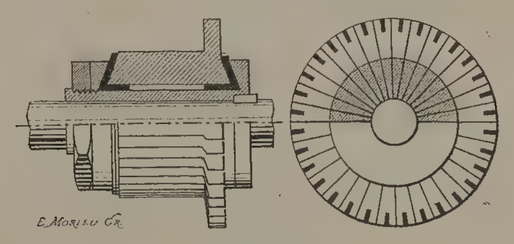


FIGURE 32.

nière à former par leur ensemble un cylindre fixé sur l'arbre, en avant de la dynamo.

Si nous supposons que chaque spire de l'induit est reliée par un fil à une des lames du collecteur, ces lames seront entraînées dans le mouvement de rotation de l'induit et accompagneront pour ainsi dire les spires correspondantes dans leur révolution. On arrivera donc exactement au même résultat en faisant appuyer les frotteurs sur les lames du collecteur que sur les spires dénudées. Mais pour ne pas trop augmenter le nombre des lames du collecteur, on utilise la remarque suivante : les spires enroulées dans un espace angulaire restreint occupent dans le champ des positions très sensiblement équivalentes au point de vue magnétique et sont, par conséquent, soumises à très peu de chose près à la même induction. On divise effectivement l'en-

roulement en un certain nombre de sections ou bobines composées de plusieurs spires en tension (fig. 33); chacune de ces sections se comporte comme

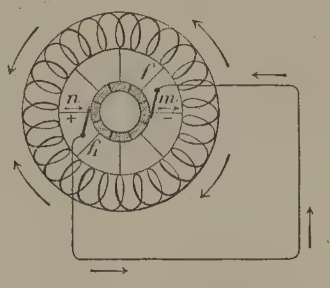


Figure 33.

un seul élément dont la phase est la même que celle de la spire médiane, nulle quand cette spire est dans le plan de commutation, maxima quand cette même spire est dans le plan polaire. Pour ne former qu'un seul circuit sans

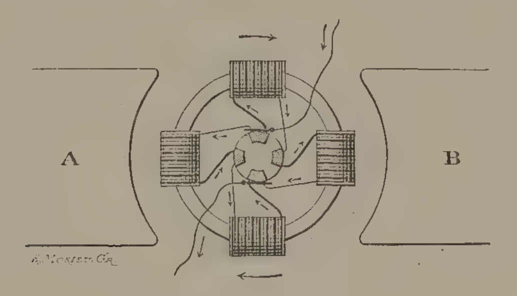


Figure 34.

fin, les diverses sections sont reliées l une à l'autre, et ce sont les points de connexion de deux bobines consécutives qui sont reliés aux diverses lames du collecteur. De cette façon, les deux moitiés de l'induit se déversent dans le

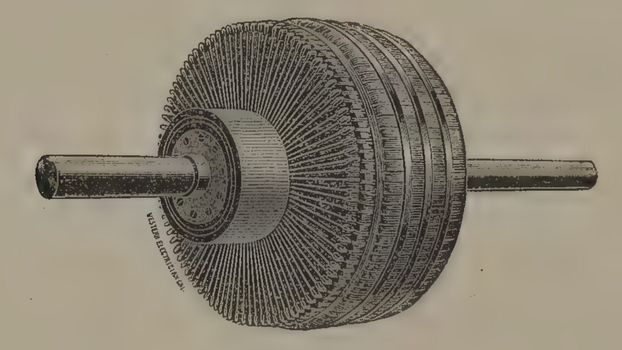


Figure 35.

circuit extérieur par les fils de connexion *m* et *n*. Un moment après, l'anneau tournant dans le sens direct, ce sont les deux fils *f* et f_1 qui seront venus

dans le plan de commutation et les lames correspondantes du collecteur auront remplacé les lames positives dans leur contact avec les balais. La distribution des courants dans les deux moitiés de l'induit est donc immuable et le circuit extérieur reçoit un courant de sens constant et de force électromotrice légèrement ondulatoire, mais qui, pratiquement, peut être considérée comme constante, si le nombre des sections de l'induit est suffisamment grand et si la vitesse de rotation de l'anneau est rapide.

En réalité, les connexions de l'anneau ont la disposition représentée sur la figure 34 et l'anneau complet a généralement la forme de la figure 35.

Angle de calage.

Nous avons jusqu'à présent supposé les balais fixés sur le collecteur suivant la ligne de commutation; mais, par suite des phénomènes de self-induction, il faut déplacer les balais, les *décaler*, de manière à ce qu'ils se trouvent en avant du plan de commutation : ce décalage est nécessité par l'existence simultanée et de la self et du collecteur sectionné dont les effets combinés ont pour résultat de déterminer la production d'étincelles, à chaque rupture du circuit normal, correspondant à la substitution successive des diverses lames du collecteur au contact des balais.

L'angle de calage est variable avec le courant : il faut donc que les balais soient portés par un support mobile ; dans le cas de la figure 36, l'angle de calage est l'angle formé par les lignes *ab* des balais et AB de commutation.

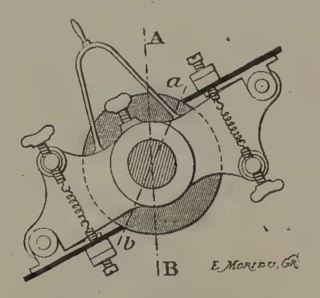


FIGURE 36.

Le décalage des balais est une nécessité inhérente au fonctionnement des dynamos à courant continu et à l'emploi des collecteurs sectionnés. Il faut cependant remarquer que dans les dynamos bien construites ce décalage est relativement faible et ne varie pas beaucoup.

Un phénomène qui se manifeste pendant le fonctionnement des dynamos doit encore être signalé brièvement : c'est ce qu'on appelle la *réaction de l'induit*. Cette réaction amène une distorsion du champ magnétique, le maximum du flux magnétique étant reporté de la ligne XY sur un diamètre qui fait un angle avec le premier axe, dans le sens du mouvement. Il en

résulte que le décalage des balais serait nécessaire, même si la self-induction des bobines en court-circuit n'existait pas. Par conséquent, il y a deux causes de décalage des balais : une due à la self, l'autre due au champ créé par l'induit. Ces deux causes s'ajoutent, si bien que l'angle total de décalage comprend l'angle d'avancement de la ligne neutre, plus l'angle d'avance sur la nouvelle ligne neutre nécessaire pour l'induction inverse des bobines permutées.

§ 6. — **Différents types de dynamos.**

Nous n'avons pas à entrer ici dans la description des inducteurs et des induits, ni dans le détail de leur construction. Les inducteurs des dynamos bipolaires sont à circuit magnétique unique ou à double circuit magnétique. Dans la première catégorie se classent les inducteurs Edison-Hopkinson, Gramme ; dans la seconde, l'inducteur Manchester, Bréguet, etc.

Il est plus important pour nous de donner quelques notions sur les différents modes d'excitation des dynamos.

Le champ magnétique dans lequel doivent se déplacer les spires de l'induit pourrait être créé par un aimant personnel ; et alors la machine serait dite *magnéto-électrique*; mais nous savons que c'est là un très mauvais moyen, bien inférieur à celui qui consiste à avoir recours aux électro-aimants.

Les électros placés sur les noyaux inducteurs des dynamos peuvent être alimentés de deux manières différentes : soit par le courant à une source auxiliaire (excitation séparée), soit par le courant même issu de l'induit de la dynamo (auto-excitation ou excitation propre). Il importe tout d'abord de bien s'entendre sur les deux expressions, bornes et balais d'une dynamo : les *bornes* sont les points où viennent se fixer les fils formant le circuit extérieur d'utilisation ; les *balais* sont les conducteurs qui frottent sur le collecteur. Ces deux organes diffèrent très souvent l'un de l'autre au point de vue de la différence de potentiel existant entre eux.

Examinons maintenant les deux manières dont les électros inducteurs peuvent être excités.

I. Excitation indépendante. La source auxiliaire qui sert à exciter l'inducteur de la dynamo considérée est en général une autre dynamo fonctionnant d'après le second mode d'excitation ; on peut aussi prendre des accumulateurs ou des piles (fig. 37), ou une source quelconque de courant continu. Dans ces conditions, l'induit ne forme qu'un seul et unique circuit avec le circuit extérieur d'utilisation qui est complètement indépendant et solé du circuit des inducteurs. Le champ demeurerait donc ainsi constant comme la source S elle-même si la réaction de l'induit qui augmente avec l'intensité du courant n'affaiblissait pas le champ principal. Si on appelle E la force électromotrice engendrée dans l'induit, e la différence de potentiel avec bornes B et B′ et r la résistance intérieure de l'induit, on a

$$e = E - rI$$

A mesure que I augmente, E — rI, c'est-à-dire e diminue de plus en plus. La formule d'Ohm donne encore

$$e = RI.$$

R désignant la résistance du circuit extérieur, on voit par là que l'affaiblissement de e entraîne celui de I et par conséquent les récepteurs, lampes,

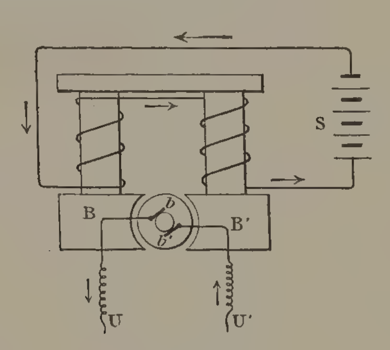


Figure 37.

moteurs, etc., ne recevront plus la quantité d'énergie nécessaire à leur fonctionnement. On est alors obligé d'augmenter l'intensité d'excitation des inducteurs.

II. Auto-excitation. Dans ce mode d'excitation, le courant excitateur est emprunté au courant induit : c'est grâce au magnétisme résiduel qui existe dans la carcasse de la dynamo que le début de l'amorcement est possible.

Quand l'anneau de la dynamo commence à tourner, les spires de l'induit coupent un petit nombre de lignes de force, d'où production de phénomènes peu marqués, il est vrai, d'induction. Ce courant, si faible qu'il soit, va augmenter l'aimantation des électros inducteurs, d'où accroissement du nombre de lignes de force du champ et de la force électromotrice induite. Une nouvelle augmentation du champ se produit encore, si bien qu'en moins d'une minute la dynamo possède son excitation et sa force électromotrice normales.

a) *Inducteurs en série.* Il suffit de jeter un coup d'œil sur la figure pour comprendre le montage des inducteurs : on voit que le circuit d'utilisation, l'induit et les inducteurs ne forment qu'un seul circuit dont toutes les parties sont traversées par la même intensité I. La différence de potentiel aux bornes e est ici très différente de celle existant entre les balais, puisque la première est réduite de la chute de tension qui se produit dans les inducteurs ; si e' désigne la différence de potentiel aux balais, r' la résistance des électros inducteurs, on a

$$e = e' - r'I.$$

On comprend aisément que le voltage e aux bornes diminue à mesure que I augmente.

Pour diminuer la perte ($r'I$) provenant de ce que le courant total de

l'induit traverse les électros, on doit diminuer autant que possible la résistance r' en prenant un fil très gros.

b) *Inducteurs en dérivation ou excitation shunt*. Dans ce mode d'excitation, le circuit des inducteurs est en connexion avec les bornes où aboutissent également les extrémités du circuit d'utilisation. Le courant induit amené par les balais aux deux bornes se bifurque en deux courants dont l'un se dépense dans le circuit extérieur et l'autre se rend dans les électros inducteurs (fig. 39).

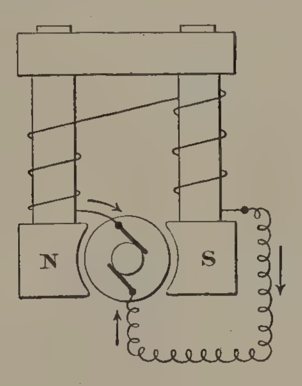


FIGURE 38.

Il faut remarquer qu'ici la différence de potentiel aux extrémités des fils allant aux inducteurs est la même que celle qui commande le circuit extérieur. Pour que l'absorption d'énergie soit aussi faible que possible, il faut que la résistance du fil constituant les électros soit très grande, aussi ce circuit doit-il être formé par un grand nombre de tours avec du fil fin.

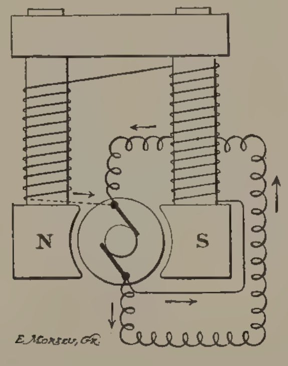


FIGURE 39.

Les dynamos shunt s'amorcent à circuit ouvert ou à circuit fermé même sur une résistance nulle, car alors le courant passerait par le circuit extérieur et rien ne serait dérivé dans les électros : c'est là un avantage, puisqu'on peut mettre ces dynamos en court-circuit sans danger, l'intensité tombant à zéro faute d'excitation.

Ce genre de dynamos se prête très bien à toutes les applications industrielles et notamment à la charge des accumulateurs.

c) *Dynamos compound.* Dans cette catégorie, le système d'excitation est composé : il comprend un circuit inducteur à gros fil en série sur le circuit extérieur et un circuit à fil fin en dérivation sur les pôles de l'induit.

En partant du balai inférieur, le courant se bifurque ; une fraction passe dans le shunt et l'autre alimente le circuit extérieur en traversant le circuit inducteur à gros fil. Ce qui caractérise cette disposition, c'est que la dérivation du shunt peut être prise directement aux balais avant l'origine du circuit en série (excitation compound en courte dérivation) ou bien après le circuit inducteur en série (excitation à longue dérivation) ; dans ce dernier

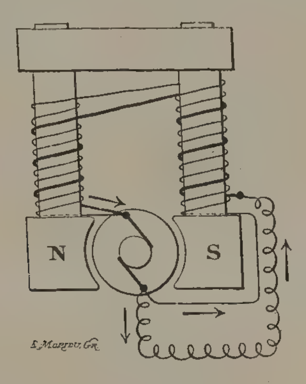


Figure 40.

cas, le courant total excite l'enroulement série. Le premier mode est le plus employé ; l'excitation n'est pas, dans ce cas, influencée par la chute de tension variable avec le courant qui se produit après elle dans le circuit inducteur en série.

Les machines compound possèdent des propriétés mixtes procédant à la fois de celles des dynamos série et des dynamos shunt.

d) *Dynamos hypercompound.* Ces machines ne diffèrent des compound qu'en ce que la part d'excitation due à l'enroulement série est prépondérante et supérieure à celle due à la dérivation.

CHAPITRE II

SOURCES DES COURANTS ALTERNATIFS

Maintenant que nous connaissons les différentes sources du courant continu, nous allons étudier celles des courants alternatifs : ces courants sont utilisés dans l'industrie et circulent dans les canalisations qui distribuent le courant électrique aux particuliers dans certaines villes. A Paris, par exemple, sur la rive gauche de la Seine, le courant fourni aux habitants est du courant alternatif sinusoïdal ; à Lyon, le courant de la Compagnie des forces motrices du Rhône (Jonage) est du courant alternatif triphasé ; de même à Limoges, etc.

Le courant alternatif est d'autant plus utile à connaître qu'il peut servir directement à exciter un tube de Crookes, ainsi qu'on le verra plus loin.

§ 1. — **Considérations générales.**

Nous savons déjà qu'on appelle *courant périodique* un courant dont l'intensité varie périodiquement avec le temps. La courbe qui représente l'intensité en fonction du temps (fig. 41) se reproduit identique à elle-même au bout d'un intervalle toujours le même qui est la *période*.

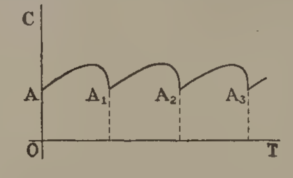


Figure 41.

On réserve plus particulièrement le nom de *courant alternatif* à un courant périodique spécial dont l'intensité, comptée positivement dans un sens et négativement dans l'autre, est alternativement positive et négative : il est figuré par une courbe qui a une partie en dessus, une partie en dessous de l'axe des temps.

Le plus simple et le plus important aussi des courants alternatifs est celui dont la forme est une courbe sinusoïdale.

On peut représenter par une formule la forme de ce courant.

Si on désigne par A la valeur maxima de l'intensité du courant, par a la phase du courant, l'intensité est, à un instant quelconque t, donnée par la formule

$$I = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - a\right),$$

T étant la période. On voit que si l'on ajoute la période T au temps t, l'*argument* (c'est-à-dire la valeur qui est entre parenthèses après $\sin 2\pi$) augmente de 2π et le sinus reprend la même valeur, ainsi qu'on le démontre en trigonométrie. L'intensité oscille entre les valeurs $+ A$ et $- A$; aussi donne-t-on à cette grandeur A le nom d'*amplitude* du courant.

Une courbe sinusoïdale est connue complètement en elle-même quand on connaît la période T et l'amplitude A. Il faut encore savoir quelle est la valeur de l'intensité en un point quelconque de la courbe; de savoir par exemple quelle est cette valeur à l'origine pour $t = 0$; si à ce moment l'intensité est nulle ou maxima ou est à une phase intermédiaire.

Cherchons à quel instant, après l'origine o, elle passe par zéro pour la première fois. C'est évidemment lorsque l'on a

$$\frac{t}{T} = a,$$

car l'argument devient alors nul et on sait que le sinus d'un angle nul est lui-même égal à zéro.

Prenons une autre courbe sinusoïdale de même période T; la valeur de l'intensité à un instant donné t' est :

$$I' = A' \sin 2\pi \left(\frac{t'}{T} - a'\right).$$

Si a' était égal à a, I' et I passeraient par zéro en même temps, les deux courbes couperaient l'axe des temps aux mêmes points N, N_1 (fig. 42); leurs

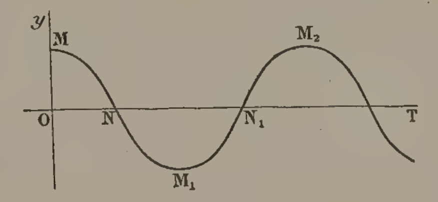


FIGURE 42.

maxima seraient atteints en même temps; les deux courants auraient par conséquent la *même phase*. Si a' n'est pas égal à a, l'intensité I prend la valeur zéro après l'origine o, lorsque $t = aT$; l'intensité I' devient nulle, elle aussi, à l'instant $t' = a'T$.

Entre ces deux instants t et t', il s'écoule un intervalle de temps qui a pour valeur $(a - a')T$.

La différence $a - a'$ s'appelle la *différence de phase* entre les deux courbes. La fraction de la période $\frac{(a-a')T}{T}$ représente le temps écoulé entre les passages par zéro des deux courbes, ou encore entre leurs passages par un maximum.

§ 2. — Production du courant alternatif.

Prenons, pour obtenir un courant alternatif, une spire de fil conducteur enroulée sur un cadre pouvant tourner autour d'un axe vertical. Quand le cadre est perpendiculaire au méridien magnétique, le nombre des lignes de force du champ terrestre traversant le cadre est maximum, quand le cadre fait un angle x avec cette position, si ω est la vitesse angulaire du mouvement, on a $x = \omega t$: on a aussi

$$x = 2\pi \frac{t}{T},$$

T étant la durée d'un tour complet ; s'il y a N tours par seconde, $N.T = 1$ et par suite

$$x = 2\pi N.t$$

et

$$\omega = 2\pi N.$$

Nous savons que pendant la rotation d'une telle spire une force électromotrice d'induction se développe ; à un moment t, la valeur de cette force électromotrice est

$$e = E_0 \sin \omega.t.$$

E_0 est l'amplitude de la force électromotrice induite ; elle est proportionnelle à la surface du cadre, à l'intensité du champ magnétique et à la vitesse angulaire ω de rotation.

Que va-t-il arriver si l'on met les deux bouts de la spire en connexion permanente avec un circuit extérieur, en utilisant par exemple deux bagues de cuivre, calées sur l'axe de rotation et auxquelles sont reliés les deux bouts du fil du cadre ?

S'il n'y a dans le circuit aucune self-induction, il suffit d'appliquer la loi d'Ohm : le courant est alternatif et change deux fois de sens par période, son intensité à un instant t est

$$I = I_0 \sin \omega.t.$$

I_0 est l'amplitude du courant, c'est-à-dire la valeur maxima de l'intensité. Un tel courant ne fournit aucun résultat si on le fait passer dans un voltamètre, car la quantité d'électricité débitée pendant une période T est nulle ; pendant les deux demi-périodes en effet les quantités d'électricité sont égales et de sens contraires, les surfaces couvertes de hachures (fig. 43) et qui

représentent exactement les quantités d'électricité sont évidemment égales, en sorte que leur somme algébrique est nulle.

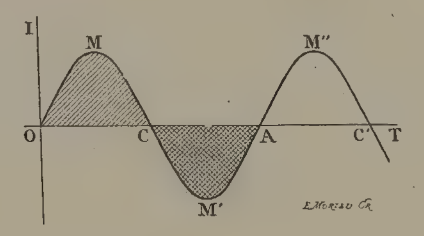


FIGURE 43.

Mais ce courant dégage de la chaleur dans les conducteurs traversés. La quantité de chaleur dégagée pendant la période T est, en joules :

$$Q = \frac{RI_0^2T}{2}.$$

Pour un courant continu, la chaleur dans le même temps T serait

$$RJ^2T.$$

Pour qu'il y ait égalité, il faut que l'intensité du courant continu J soit

$$J = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

Par conséquent, le courant continu qui produirait les mêmes effets calorifiques qu'un courant alternatif donné aurait pour intensité l'amplitude ou intensité maxima du courant alternatif divisée par $\sqrt{2}$.

Aussi appelle-t-on cette quantité $\frac{I_0}{\sqrt{2}}$ *intensité efficace* I_e du courant alternatif. Par analogie, on appelle force électromotrice efficace E_e le quotient $\frac{E_0}{\sqrt{2}}$.

L'intensité efficace d'un courant alternatif se mesure avec les appareils appelés *électrodynamomètres*.

Il y a encore à considérer l'énergie et la puissance efficaces des courants alternatifs. On sait que le travail fourni par un courant continu en une seconde a pour expression le produit de la force électromotrice par l'intensité. Le travail produit à chaque instant par un courant alternatif sera donc le produit de la force électromotrice instantanée par le courant correspondant. Comme ce qui nous intéresse, c'est le travail moyen par seconde, on obtiendra l'expression de ce travail en considérant la force électromotrice efficace et l'intensité efficace, et l'on écrira

$$W = \frac{E_0}{\sqrt{2}} \times \frac{I_0}{\sqrt{2}} = \frac{E_0 . I_0}{2}.$$

Le travail effectué en une seconde ou la *puissance* d'un courant alternatif est donc égale au produit de la force électromotrice et de l'intensité efficaces

ou au demi-produit des forces électromotrices et intensité maxima. Il faut que les valeurs instantanées, d'où résultent les quantités efficaces, se produisent dans des périodes simultanées, c'est-à-dire que les phases de la force électromotrice et de l'intensité soient en complète concordance. On conçoit en effet que la moyenne des produits des forces électromotrices et intensités instantanées varie nécessairement suivant le décalage des deux courbes représentatives l'une par rapport à l'autre : ce décalage peut exister pour deux causes différentes provenant soit de la self-induction, soit de la capacité du circuit.

On ne peut plus écrire ici

$$W = E.I = \frac{E_0 \times I_0}{2},$$

car le décalage a pour résultat de réduire la puissance qui deviendrait nulle dans le cas d'une différence de phase de 90°.

Par conséquent, pour évaluer la puissance d'un courant alternatif, il ne suffit pas de déterminer séparément, à l'aide d'un électrodynamomètre et d'un électromètre par exemple, l'intensité et la force électromotrice ; le produit de ces quantités donnerait ce qu'on appelle les *watts apparents* et pas du tout les *watts réels* qui sont réduits en proportion du décalage. On doit mesurer directement la puissance des courants alternatifs à l'aide du *wattmètre ;* encore faut-il que l'instrument, et particulièrement la bobine mobile en dérivation, ne présente pas de réactance sensible. L'emploi successif et concourant des appareils de mesure d'intensité, de voltage et de puissance, permet de déterminer le *facteur de puissance*, c'est-à-dire le rapport des watts réels aux watts apparents ; appelons-le F.

Tout se passe donc comme si le courant, au lieu d'avoir une intensité I, n'avait qu'une intensité $I \times F$ qui n'est qu'une fraction de I. Que devient alors l'autre partie de I qui ne concourt pas à la production du travail ? Elle sert à produire l'aimantation du circuit magnétique qui ne consomme aucun travail, abstraction faite de l'énergie absorbée par hystérésis.

§ 3. — **Machines à courants alternatifs ou alternateurs.**

Nous avons maintenant à étudier les sources du courant alternatif et dont nous connaissons le principe et les lois.

Les alternateurs dérivent de la machine rudimentaire formée par la spire enroulée sur un cadre mobile que nous avons considérée au début de ce chapitre. Ils ont précédé dans l'ordre chronologique les dynamos à courant continu, car les dispositions permettant de redresser le courant exigeaient des perfectionnements et des essais assez longs; mais on délaissa pendant plusieurs années les courants alternatifs pour n'user que le courant continu. On est revenu aujourd'hui aux alternateurs qui donnent des courants faciles à distribuer dans les canalisations industrielles.

Ce sont des courants de haute tension et de période courte que l'on

demande en général aux alternateurs : leur fréquence varie, pour les besoins usuels, entre 40 et 140. L'induit ne peut donc pas être réduit à une seule bobine, comme cela se fait dans la machine Siemens pour courants continus, car il faudrait donner à l'armature supportant l'induit une vitesse angulaire trop considérable pour atteindre la fréquence désirée : il y aurait en outre du danger à superposer dans l'enroulement des spires maintenues à des potentiels très différents. On est donc, pour ces deux principales raisons, obligé de diviser l'induit en un certain nombre de bobines distinctes, passant successivement dans des champs magnétiques produits par un *inducteur multipolaire*.

Classement des alternateurs. — On peut classer les alternateurs d'après la forme de l'induit qui est à tambour, à anneau ou à disque. L'enroulement à tambour tend à prédominer dans les machines récentes ; dans les premières, c'était au contraire l'enroulement à disque qui était le plus employé et nous devons commencer par indiquer ce premier genre d'enroulement.

a) *Induit à disque*. Représentons schématiquement une partie de cet induit : deux séries d'électro-aimants inducteurs *fixes* sont disposés (fig. 44) suivant

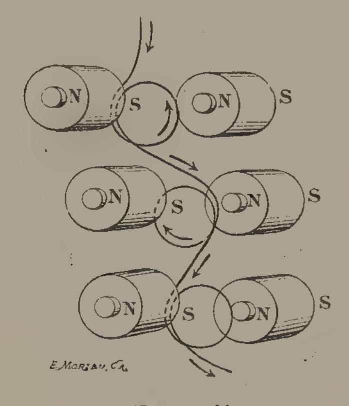


Figure 44.

deux couronnes parallèles et sont parcourues par des courants continus ; entre les pôles en regard et très voisins l'un de l'autre se développent des champs magnétiques dont le sens alterne, comme l'indique la figure 44 : ainsi dans les deux électros d'en haut, il y a un pôle sud à gauche et un pôle nord à droite, du côté où ces deux électros se font face ; dans ceux du milieu, un pôle nord à gauche et un pôle sud à droite, etc. Entre ces électros créateurs de champs de sens alternatif, peut se déplacer un induit constitué par des couronnes formées de bobines dont on n'a représenté qu'une spire dans la figure : le nombre des bobines induites est égal à celui des paires de pôles. Il est facile de voir que la force électromotrice d'induction change de sens, dans les spires mobiles, au moment où celles-ci passent devant les pôles des électro-aimants.

Les forces électromotrices sont de sens opposé dans deux bobines induites consécutives, mais à cause du mode de connexion des bobines, les courants produits s'ajoutent dans le circuit induit. Les courants alternatifs sont recueillis par des balais qui frottent sur deux bagues métalliques isolées fixées sur l'arbre et auxquelles aboutissent les extrémités du fil induit.

Il y a autant de changements de sens du courant qu'il y a de champs inducteurs ; par conséquent, si on désigne par n le nombre des paires de pôles et par N le nombre de tours de la machine effectués en une seconde, la période du courant sera exprimée par $\frac{2}{nN}$.

Le plus souvent les bobines sont réunies en tension, mais on peut les grouper en quantité ; il est encore possible de constituer plusieurs circuits induits formés chacun d'une ou de plusieurs bobines convenablement associées, chaque groupe communiquant avec un commutateur spécial à deux bagues.

On doit faire en sorte d'associer entre elles les bobines semblablement placées par rapport aux pôles inducteurs, car celles qui ne sont pas dans ce cas donnent lieu à des forces électromotrices ayant des phases différentes.

Les pôles libres des inducteurs dont l'excitation se fait par une machine indépendante portent des épanouissements de forme trapézoïdale ayant pour objet d'étendre et de régulariser les champs magnétiques dans lesquels se meut l'armature. Cette dernière a une troisième couronne formée par des bobines dépourvues de noyaux en fer ; ces bobines sont enroulées sur les carcasses évidées, qui sont portées par un double plateau en bronze fixé sur l'axe de rotation.

b) *Induit à anneau.* L'armature est fixe et se compose d'un anneau recouvert d'un nombre pair de sections contiguës ; toutes ces sections sont reliées

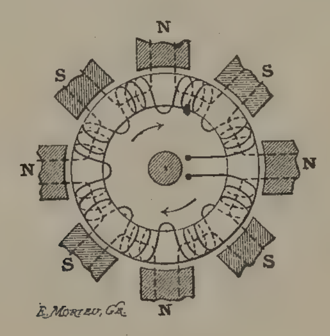


FIGURE 45.

en série et ne forment qu'un seul circuit dont les extrémités communiquent respectivement aux bagues isolées formant collecteur (fig. 45).

L'inducteur est mobile et ses pôles multiples sont disposés radialement et concentriquement à l'anneau, soit à l'extérieur, soit à l'intérieur de celui-ci.

L'ensemble de l'inducteur présente dans ce type autant de lignes neutres que d'espaces interpolaires ou de pôles ; il y a d'autre part autant de bobines que de pôles. Il en résulte que toutes les bobines se trouvent placées *en même temps* dans des positions identiques par rapport aux pôles voisins, soit dans l'axe de ces pôles par exemple, soit sur les lignes neutres.

Il faut remarquer que les bobines successives sont traversées par des flux magnétiques alternativement de sens contraire ; elles sont donc le siège de courants de sens inverse et les forces électromotrices seraient opposées et s'annuleraient deux à deux si l'on ne prenait soin de diriger l'enroulement ou les connexions des bobines successives, de manière à faire concorder les impulsions dans le même sens.

Le nombre des pôles inducteurs est habituellement un sous-multiple du nombre des bobines de l'induit.

c) *Induit à tambour.* Les bobines sont aplaties et disposées à la surface du noyau ; elles sont plus larges que la jante de l'induit, afin qu'une fois mises en place on puisse rabattre les extrémités sur les joues de l'armature, et par ce moyen, les fixer solidement.

Dans le cas où l'inducteur est mobile et l'induit fixe, l'enroulement est à tambour et est logé dans des cannelures ménagées sur la face intérieure d'une carcasse annulaire qui entoure l'inducteur mobile. D'autres fois, les cannelures sont remplacées par des saillies formant de véritables projections polaires sur lesquelles se font les enroulements induits.

Il existe d'autres genres d'induits et d'enroulements pour l'obtention des courants *polyphasés* et en particulier *triphasés* ; nous décrirons le dispositif employé après que nous en aurons fini avec les alternateurs simples produisant des courants sinusoïdaux.

Alternateur à fer tournant. — Nous devons encore indiquer un type d'alternateur à inducteur et à induits fixes dans lequel le seul organe mobile est formé d'une couronne dentée ou de pièces polaires séparées qui viennent s'interposer en tournant dans le circuit magnétique et font varier le flux qui traverse les bobines induites : on désigne ces machines sous le nom d'*alternateurs à fer tournant*.

Schématiquement, on peut représenter ce genre d'alternateur par la figure 46 ; supposons une demi-caisse de tambour en tôle portant intérieurement des projections radiales sur lesquelles sont enroulées les bobines induites ; sur le fond du tambour est fixée la bobine inductrice B ; un cylindre de fer ou d'acier est manchonné sur l'arbre de l'alternateur et il porte un croisillon de tôle à six branches A. Le flux engendré par l'inducteur se répand dans la masse du tambour, passe par les projections polaires à travers les bobines induites et se referme par les branches de l'étoile mobile et par le manchon.

Comme on le voit, le nombre des bobines induites est double de celui des branches polaires de l'étoile, en sorte que chacune des bobines induites se trouve successivement en regard d'un bras ou d'un creux de

l'étoile, disposition qui modifie l'intensité du flux à travers chaque bobine.

Il n'y a donc dans ce système aucun contact mobile ; plus de balais, ni de

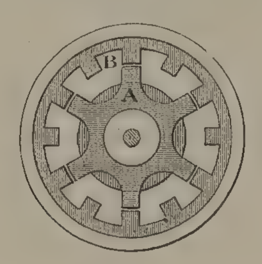


Figure 46.

collecteur. La dépense d'excitation est en outre notablement diminuée, car la bobine inductrice étant unique, le champ magnétique est concentré dans une seule pièce de très grand volume qui présente une perméabilité supérieure et réduit les pertes dues aux dérivations magnétiques.

Modes d'excitation des alternateurs. — D'après ce que nous avons vu, le mode de génération des courants dans l'alternateur exige que les pôles inducteurs conservent la même polarité. Il faut donc nécessairement que les inducteurs soient excités par des courants continus seuls capables de fournir l'aimantation fixe et constante qui est indispensable. On empruntera généralement le courant voulu à une dynamo à courant continu ; cette dynamo peut être complètement distincte de l'alternateur, mais elle est souvent montée sur le bâti de celui-ci.

Cette excitation est commode à cause de la facilité du réglage du courant excitateur au moyen de rhéostats placés soit dans le circuit de connexion soit dans le circuit inducteur de la dynamo si celle-ci est une machine shunt.

On peut cependant utiliser l'auto-excitation, en redressant une partie du courant de l'alternateur, grâce à un commutateur approprié monté sur l'arbre.

Prenons, par exemple, une machine alternative à six pôles : le commutateur sera formé d'une sorte de collecteur à six lames isolées, monté sur l'arbre de la machine ; ces lames sont reliées trois par trois et chaque groupe ainsi formé est mis respectivement en communication avec chacune des extrémités du circuit inducteur : deux balais P et Q mis en relation avec une dérivation prise sur l'enroulement induit frottent sur le commutateur, si bien qu'ils sont dans le même temps en contact l'un avec une lame du premier groupe, l'autre avec une lame du second.

§ 4. — Forme des courants alternatifs. Rhéographe.

Nous avons vu que la courbe représentant la variation de l'intensité en fonction du temps des courants fournis par les alternateurs industriels était une sinusoïde ; mais nous n'avons établi la forme de ces courants que par le raisonnement.

Il est possible de se rendre compte expérimentalement de l'exactitude des déductions que nous avons faites et de constater par la vue la forme du courant fourni par un alternateur.

M. Blondel en 1893 a imaginé un premier dispositif appelé *oscillographe* pour l'étude des oscillations électriques; mais c'est surtout à MM. Abraham et Carpentier que l'on doit de pouvoir examiner directement la courbe des courants alternatifs : l'appareil très ingénieux qui sert ainsi à *voir* la forme des courants s'appelle le *rhéographe à induction*.

Le but qu'il s'agissait d'atteindre était d'établir un galvanomètre dont la déviation soit à chaque instant proportionnelle à l'intensité du courant étudié et de trouver un dispositif optique permettant l observation directe des variations du courant ou leur enregistrement photographique. Voyons les différentes étapes accomplies dans la réalisation de cet intéressant rhéographe.

Les petites déviations du cadre mobile d'un galvanomètre dépendent de l'inertie, du frottement, de la force directrice et de la force motrice ; celle-ci est proportionnelle à l'intensité du courant qui passe dans le galvanomètre.

Le courant qui est lancé dans le galvanomètre a une intensité différente de celle I du courant à étudier : les déviations sont à chaque instant proportionnelles au courant I, car les deux intensités sont liées convenablement entre elles. Ce résultat est obtenu en utilisant les phénomènes d'induction : les figures 47 et 48 représentent le schéma des circuits. Le courant primitif I agit par induction sur un circuit auxiliaire où il crée une force électromotrice rigoureusement proportionnelle à la variation de l'intensité avec le temps, pourvu que l'on soit loin de toute masse de fer. Le courant auxiliaire I' agit à son tour par induction sur le circuit du galvanomètre.

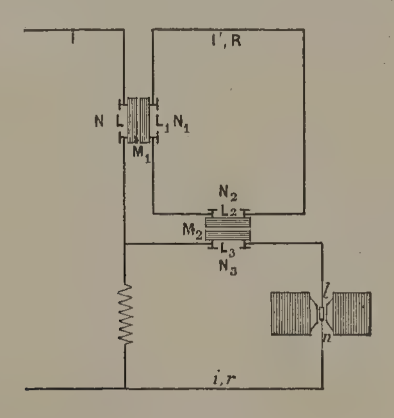


FIGURE 47.

Il est utile de laisser subsister une certaine induction mutuelle réglable entre le circuit du courant primitif I et le circuit du galvanomètre. On peut, grâce à ces dispositions, obtenir des déviations galvanométriques proportionnelles *à chaque instant* à l'intensité du courant I, et il suffira pour obte-

nir la courbe du courant de combiner optiquement le mouvement du galvanomètre avec celui d'un miroir tournant.

La partie la plus délicate de l'appareil, c'est le galvanomètre ; le champ est créé par un électro-aimant et le cadre mobile n'a que quelques milli-

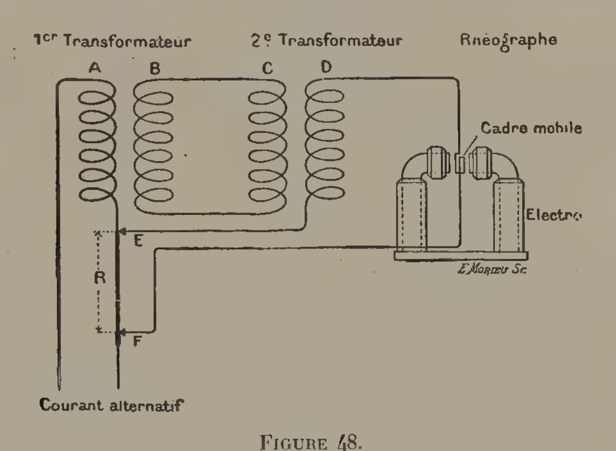


FIGURE 48.

mètres de large ; il est tout entier recouvert par le miroir et occupe presque tout l'entrefer.

Les vibrations transversales du fil de torsion entraînées par les mouvements du cadre doivent être évitées ; cette tendance à ces trépidations a été réduite en équilibrant avec soin la bobine ; le constructeur a même rendu ces trépidations impossibles par l'emploi de deux petits coussins sur lesquels le fil de torsion s'appuie légèrement et en faisant tourner l'équipage entre rubis.

La seconde partie de l'appareil est formée par les circuits auxiliaires : ils sont rassemblés sur une planchette indépendante (fig. 49) et comprenant : 1° la bobine plate 1 où passe le courant I ; 2° la bobine induite 2 du circuit

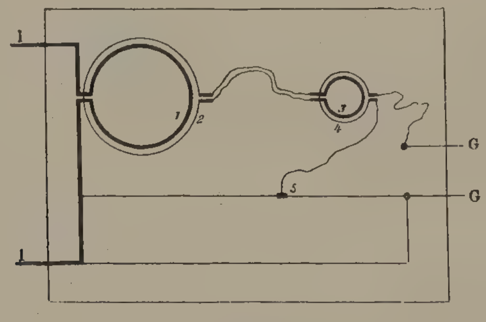


FIGURE 49.

auxiliaire ; 3° le circuit inducteur auxiliaire 3 et l'enroulement induit 4 qui sera relié en G au galvanomètre ; cette bobine double est mobile pour le réglage convenable ; 4° le rhéostat à curseur 5 servant à régler l'intensité.

La troisième partie est destinée à l'enregistrement : un point lumineux constitué par un arc électrique diaphragmé (fig. 50) émet un faisceau horizontal de rayons ; ceux-ci tombent sur un miroir plan vertical qui, les faisant tourner

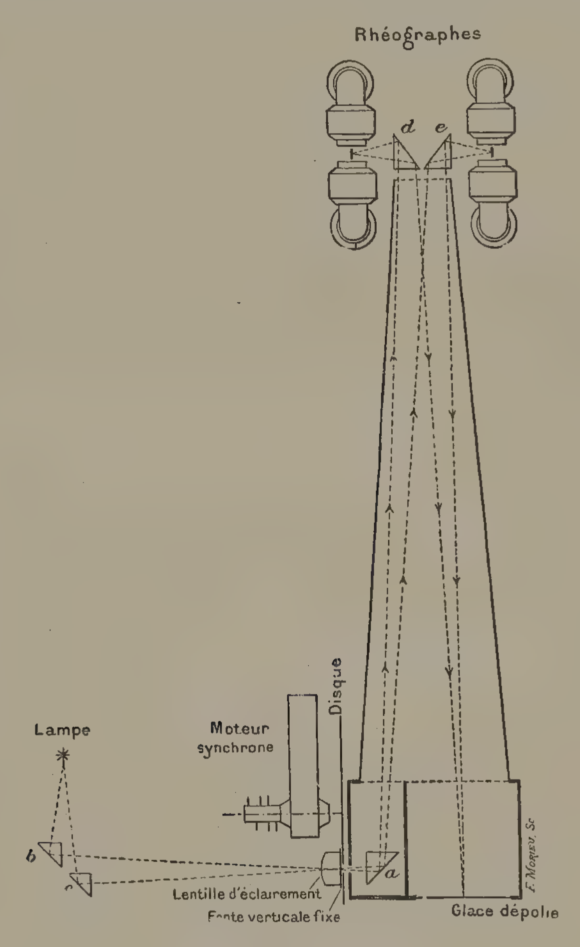


FIGURE 50 (*Carpentier*).

d'un angle droit, les envoie sur le miroir concave du galvanomètre et les reprend ensuite pour les diriger vers une plaque photographique où se peint l'image du point lumineux. La plaque sensible est au fond d'une chambre noire photographique sans objectif. Elle est protégée par un système de trois écrans noirs et cela permet d'opérer en plein jour.

Le miroir peut tourner autour d'un axe horizontal, comme le galvanomètre a son axe de rotation vertical, *la combinaison des deux mouvements fournit la courbe du courant.*

A la place de la plaque sensible, on peut placer un verre dépoli sur lequel vient se dessiner la courbe du courant en fonction du temps.

La réglage du rhéographe ou plutôt de la compensation se fait empiri-

quement en observant la forme d'un courant périodiquement interrompu. Il est important de remarquer que le réglage effectué par un simple glissement des pièces mobiles est fait une fois pour toutes et ne change plus, pourvu que le champ magnétique reste le même.

Voici un spécimen de courbes obtenues à l'aide du rhéographe d'Abraham :

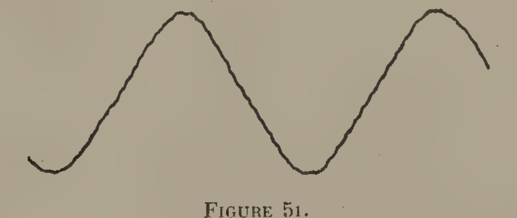


FIGURE 51.

La figure 51 est la photographie, fournie par le rhéographe, de la forme du courant d'une machine à courants sinusoïdaux. On voit combien est parfaite la similitude de la courbe trouvée par l'expérience avec celle déduite du calcul pour les courants alternatifs sinusoïdaux. On peut remarquer sur la photographie de légères sinuosités équidistantes tout le long de la courbe ; elles sont dues à ce que la machine qui fournissait le courant alternatif, et qui était une machine Gramme tétrapolaire, donnait en même temps naissance à du courant continu ; c'est le passage des touches du collecteur sous les balais qui a produit les légères ondulations que l'on voit.

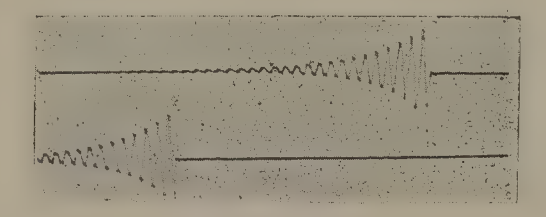


FIGURE 52 (*Soc. Phys.*).

La figure 52 est la forme de la décharge d'un condensateur de 1 microfarad dans un circuit inductif ; il y a deux décharges et l'on voit qu'elles sont l'une et l'autre oscillatoires : l'amplitude décroît progressivement, mais la durée de la période demeure constante.

§ 5. — Courants alternatifs polyphasés.

Jusqu'ici nous n'avons étudié que les courants alternatifs uniques de forme sinusoïdale ; on emploie fréquemment dans l'industrie d'autres courants appelés courants triphasés et qui sont distribués, comme nous l'avons dit plus haut, aux habitants dans certaines villes, Paris, Lyon, Limoges, etc

On arrive à concevoir le mécanisme de la production de ces courants et leur forme, en considérant les effets produits par plusieurs courants alternatifs distincts, de même période, mais de *phases différentes*.

Supposons un aimant permanent mobile entre les pôles de deux paires de bobines d'électro-aimants situés dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation et dont les noyaux font entre eux un angle de 90°. Dans le fil qui entoure la double bobine, la rotation de l'aimant produira un courant alternatif de période T ; dans le fil de la double bobine, on aura un autre courant alternatif de période T ; si les deux bobines sont identiques, il est évident que le courant dans le fil extérieur aura une différence de phase d'un quart de période ou de 90°, par rapport au courant dans l'autre fil.

On a ainsi un dispositif pouvant fournir des courants alternatifs *diphasés*.

La forme des courants diphasés peut être facilement comprise en voyant ce qui se passe lorsque deux pendules de même longueur oscillent de telle manière (fig. 53) que l'un commence à osciller tandis que l'autre passe par

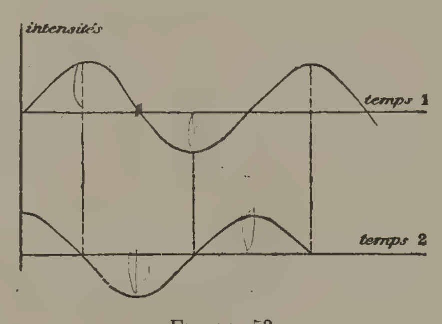


FIGURE 53.

la verticale. Dans ces conditions, on peut dire que les deux pendules présentent une différence de phase ou un décalage d'un quart de période.

Si l'on prenait trois pendules ayant entre eux un retard ou un décalage d'un tiers de période, on aurait l'image très nette de la forme des courants *triphasés*.

Les courants triphasés, très utilisés aujourd'hui, peuvent être produits facilement avec les alternateurs précédemment décrits, à condition de tripler le nombre des bobines induites. Prenons, par exemple, un alternateur et disposons trois bobines induites, au lieu d'une seule, et également espacées, A, B, C (fig. 54). Ces trois bobines vont être le siège de forces électromotrices décalées l'une par rapport à l'autre d'un tiers de période. L'induit sera donc formé de trois systèmes de bobines : un système comprenant les bobines A, un autre les bobines B, un troisième les bobines C. Supposons que ces trois systèmes soient indépendants les uns des autres et que les fils respectifs aboutissent à deux bornes distinctes. On recueillera à ces trois paires de bornes trois courants alternatifs décalés l'une par rapport à l'autre d'un tiers de période. Cette disposition revient donc à avoir trois alterna-

teurs distincts A, B, C, dont les induits sont montés sur le même arbre et décalés l'un par rapport à l'autre d'un tiers de l'angle qui sépare deux bobines du même système.

Les alternateurs destinés à produire les courants triphasés ont des bobines induites pouvant avoir la disposition de l'*enroulement enchaîné* ou celle de l'*enroulement Gramme :* la première, qui rappelle l'enroulement en tambour,

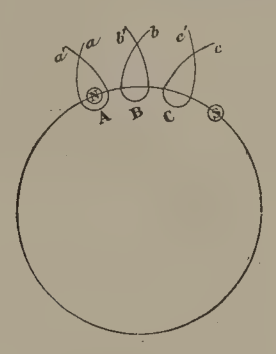


Figure 54.

consiste à faire empiéter les différentes bobines les unes sur les autres, en sorte qu'une bobine de phase intermédiaire est chevauchée (fig. 54) par une de phase en retard et par une de phase en avance. Ces bobines sont le plus souvent encastrées dans des cannelures du noyau induit ; les différentes bobines sont donc enchevêtrées comme les anneaux d'une chaîne.

Sur la figure 55 schématique, où chaque bobine est représentée par une seule spire, on voit l'enroulement de chaque circuit dépasser en zigzag le pourtour

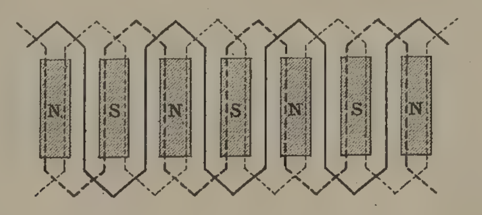


Figure 55.

de l'armature. On voit aussi qu'à chaque pôle inducteur correspondent trois brins appartenant à chacun des trois circuits triphasés. Mais si l'on considère les bobines formées chacune par l'ensemble des deux brins d'un même circuit, on reconnaît que les axes des trois bobines consécutives appartenant à trois circuits différents occupent l'espace angulaire de deux pôles de même nom formant le circuit magnétique complet et divisent cet espace en trois parties égales ; les courants devront donc présenter entre eux une différence de phase d'un tiers de période.

La deuxième disposition utilisée est l'enroulement Gramme : celui-ci

consiste à combiner convenablement les connexions des bobines en trois circuits distincts. Il suffit pour cela de relier ensemble les bobines de même phase et qui, par conséquent, sont semblablement placées à chaque instant dans le champ magnétique. Dans ce cas, les axes des deux bobines induites consécutives embrassent sur l'anneau un angle égal au tiers de la distance angulaire des deux pôles consécutifs de même nom. Les courants sont recueillis par des bagues isolées auxquelles aboutissent les extrémités des circuits induits.

Alternateur triphasé à enroulement fermé. Il est possible de produire des courants triphasés en se servant d'une dynamo ordinaire à enroulement fermé : il suffit pour cela de relier à trois bagues isolées les différents points de l'enroulement qui occupent dans les champs magnétiques inducteurs des positions correspondant à des différences de phase déterminées.

Soit un anneau de Gramme (fig. 56) recouvert de son enroulement sans

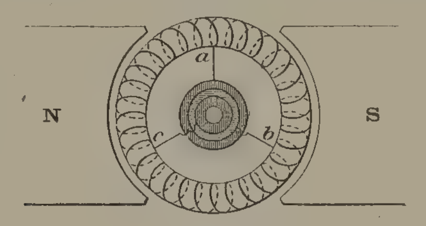


FIGURE 56.

fin, et relions à trois bagues les trois points *a*, *b*, *c*, espacés d'un intervalle angulaire d'un tiers de circonférence.

Les points *b* et *c* semblablement placés par rapport aux pôles N et S ont évidemment à un instant quelconque des tensions égales et opposées ; par conséquent, la différence de tension entre ces deux points est égale à zéro, La différence de tension entre les deux points *c* et *a* d'une part, *b* et *a* d'autre

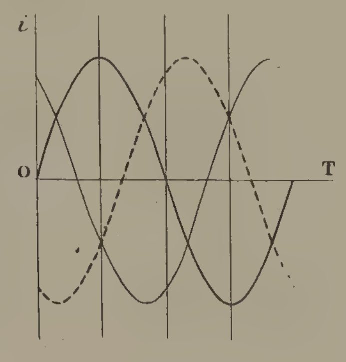


FIGURE 57.

part, est, au contraire, voisine du maximum, puisque la tension de *a* est nulle, comme nous l'avons vu : ces différences de tension sont de signe con-

traire puisqu'elles sont engendrées dans les demi-cadrans opposés. On conçoit donc que l'on obtiendra ainsi trois forces électromotrices et trois courants *décalés* d'un tiers de période, car, en se reportant à la figure 57 qui représente la forme des courants triphasés, on voit que la valeur zéro de l'un des courants est dans le voisinage des maxima positif et négatif des deux autres courants.

Transmission de l'énergie avec les courants triphasés. Cette transmission paraît à priori très compliquée, puisqu'elle exige trois lignes différentes, c'est-à-dire six fils entre l'alternateur et les récepteurs. Mais on peut réduire à trois les fils nécessaires : sur chacune des bagues isolées, on fait frotter un balai auquel est relié un fil de ligne *et un seul* : on a donc ainsi trois fils seulement. Remarquons en effet que les trois courants peuvent être représentés par les trois lignes OA, OB, OC (fig. 58), faisant entre elles des angles

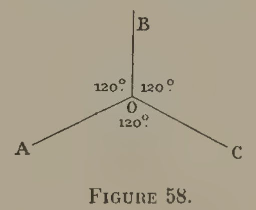


Figure 58.

égaux : l'un quelconque de ces courants est égal et directement opposé à la résultante ou à la somme algébrique des deux autres. Si l'on a trois fils de ligne identiques, parcourus par ces trois courants et si on les réunit en un

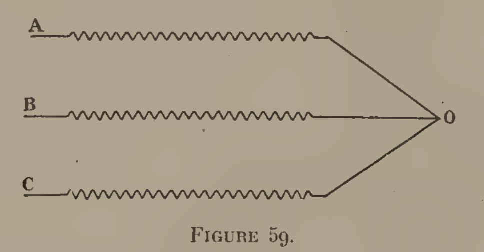


Figure 59.

même point O, chacun d'eux pourra servir de *fil de retour* au système des deux autres courants.

Si donc on relie ces trois fils A, B, C, de ligne à un récepteur (fig. 59), constitué par un alternateur identique au générateur, celui-là se mettra à tourner si chaque balai frottant sur les bagues est réuni aux trois fils de ligne.

CHAPITRE III

TRANSFORMATEURS. — BOBINE DE RUHMKORFF

Les sources d'électricité que nous avons étudiées jusqu'à maintenant utilisaient soit l'énergie chimique, soit l'énergie mécanique, pour produire la différence de potentiel nécessaire à la création du courant électrique. Indépendamment de ces sources, il existe des appareils ou machines qui transforment l'énergie électrique elle-même en courant, mais celui-ci n'a plus la même forme que celui qui arrivait aux bornes de la machine. On appelle ces sources secondaires d'électricité des *transformateurs*.

§ 1. — Considérations générales.

Ce sont des appareils susceptibles de modifier en sens inverses les deux facteurs de la puissance électrique : force électromotrice et intensité, c'est-à-dire de transformer un courant de basse tension et de forte intensité en un courant moins intense, mais de tension beaucoup plus élevée, ou bien de résoudre le problème inverse.

Si l'on fournit un courant I de force électromotrice E à un transformateur, il restituera un courant différent I′, de tension différente aussi E′; en sorte que l'on aura, abstraction faite des pertes,

$$EI = E'I'.$$

La solution de la transformation de l'énergie électrique repose sur l'emploi de la bobine d'induction découverte par Faraday et consistant en deux circuits disposés de manière à présenter un coefficient d'induction mutuelle considérable.

Un transformateur est composé, d'une façon générale, d'un noyau de fer sur lequel sont enroulées deux bobines, l'une à gros fil et à petit nombre de spires, l'autre à fil fin et à grand nombre de spires. Ces deux bobines sont soigneusement isolées l'une de l'autre et isolées aussi du noyau de fer. Si l'on envoie dans l'une de ces bobines un courant alternatif, il se produira dans le noyau des variations périodiques de flux et, par suite, un autre courant alternatif prendra naissance dans la seconde bobine.

Le courant à transformer s'appelle le *courant primaire* et le courant qui est recueilli aux bornes du transformateur s'appelle le *courant secondaire*. Les bobines correspondantes portent les mêmes noms. Les différences de potentiel efficaces aux extrémités des bobines d'un transformateur sont sensiblement proportionnelles aux nombres de tours de ces bobines ; si l'on veut abaisser la tension d'un courant, il faudra par conséquent choisir comme primaire le fil fin ; le courant transformé se recueillera alors aux bornes du fil gros.

Si l'on cherche au contraire à élever la tension d'un courant, on devra envoyer le courant primaire dans la bobine à gros fil et prendre alors comme secondaire le fil fin ; c'est le but que l'on se propose quand on emploie la bobine de Ruhmkorff.

Lorsque le courant primaire, qui par ses variations engendre les phénomènes d'induction dans le secondaire, est arrivé au régime permanent, l'action inductrice cesse : pour entretenir celle-ci, on peut interrompre périodiquement le circuit primaire et rendre le courant inducteur intermittent, ou bien employer un courant inducteur alternatif. Les pertes qui se produisent dans un transformateur et qui ont pour valeur la différence EI — E'I', sont dues : 1° à l'effet joule dans les bobines ; 2° aux courants de Foucault et 3° à l'hystérésis dans le noyau. Mais ces trois causes de pertes peuvent être réduites au point de ne produire qu'un déchet total de quelques centièmes de la puissance E I.

L'induction mutuelle entre les deux bobines d'un transformateur est proportionnelle à la variation du flux de force qui traverse le noyau de fer ; lorsque ce dernier est fermé sur lui-même, la réluctance du circuit magnétique est considérablement réduite et, par suite, le flux peut acquérir une valeur bien plus grande que si le noyau était ouvert. Aussi l'emploi des noyaux fermés est-il tout indiqué dans le cas des courants primaires alternatifs, lorsqu'on cherche à réduire au minimum les dimensions des transformateurs. Dans le cas des courants inducteurs intermittents, le magnétisme rémanent d'un noyau fermé tend à réduire les variations du flux de force, lequel conserve, quand le courant passe par zéro, une valeur considérable. On est donc forcé de prendre ici des noyaux ouverts, malgré la grande résistance de l'air interposé dans le circuit magnétique.

Cela nous amène à diviser les transformateurs en deux catégories : les transformateurs à courants primaires intermittents ou à *circuit magnétique ouvert* ; et les transformateurs à courants alternatifs ou à *circuit magnétique fermé*.

§ 2. — Transformateurs à circuit magnétique ouvert (Bobine de Ruhmkorff).

C'est cette catégorie de transformateurs qui a été connue la première et Ruhmkorff a donné son nom à un appareil ayant pour but de pro-

duire des courants de tension élevée par la transformation de l'énergie fournie par les piles.

La bobine de Ruhmkorff se compose essentiellement (fig. 60) d'un noyau droit n, formé de fils de fer réunis en faisceau et vernis, afin d'éviter les courants de Foucault, et de deux bobines enroulées sur ce noyau. La bobine primaire entoure immédiatement le noyau et comprend une seule couche ou un

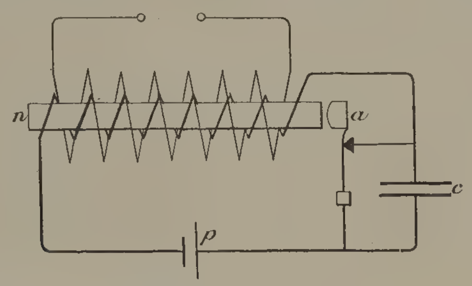


FIGURE 60 (*Eric Gérard*).

nombre restreint de couches de gros fil ; la bobine secondaire posée autour de la précédente porte un grand nombre de spires de fil fin.

Lorsque le circuit induit doit être le siège de forces électromotrices considérables, il faut avoir soin de séparer autant que possible les spires dont les potentiels sont très différents.

On arrive à ce but, en cloisonnant la bobine secondaire, c'est-à-dire en la formant de bobines plates réunies en série et séparées par des cloisons isolantes. On peut diminuer l'écartement des spires à potentiels inégaux en plongeant la bobine dans une substance douée d'une plus grande résistance que l'air. On choisira l'huile, par exemple, ou la paraffine.

Le circuit primaire est relié aux bornes d'une source de courant continu, piles, accumulateurs : celui-ci est rendu intermittent, c'est-à-dire qu'il est périodiquement interrompu par un trembleur formé en général (trembleur de Neef), d'une armature a attirée par le noyau de fer n et qui rompt le circuit au moment où le flux magnétique atteint une certaine valeur. En appelant C le coefficient d'induction mutuelle des deux bobines, I l'intensité maxima du courant inducteur et R la résistance totale du circuit secondaire, la quantité d'électricité induite dans ce dernier pendant les périodes variables d'ouverture et de fermeture est

$$Q = \frac{C \times I}{R}.$$

La force électromotrice secondaire et, par suite, l'intensité du courant secondaire varient, pour une valeur donnée de I, en raison inverse de la durée de la période variable.

Or, la durée de la période variable de fermeture est plus grande que celle de la période d'ouverture. Il en résulte que la tension est plus forte dans le circuit secondaire pendant l'état variable d'ouverture que pendant celui de fermeture.

Lorsque l'armature *a* est attirée et cesse de toucher la pointe métallique contre laquelle elle s'appuie, le courant primaire est interrompu ; à ce moment, il se produit une étincelle qui prolonge la durée de l'état variable du courant inducteur sous forme d'extra-courant direct. Cet effet affaiblit le courant induit de rupture et peut en outre altérer l'interrupteur.

Fizeau a eu l'idée, pour réduire l'étincelle de rupture, de placer en dérivation, entre l'interrupteur et le contact, un condensateur *c* qui absorbe la plus grande partie de l'énergie de l'extra-courant primaire, laquelle s'accumule dans le diélectrique, grâce au travail de l'élasticité de ce dernier.

Au moment où le circuit primaire se rétablit, cette énergie est utilisée en partie : elle ouvre la route, pour ainsi dire, au courant inducteur en produisant une légère étincelle de décharge au contact de l'interrupteur.

Quant à la capacité du condensateur, elle doit être appropriée à la rapidité du trembleur et à la self-induction du circuit primaire.

Si l'on fait usage de l'interrupteur électrolytique de Wehnelt, il est inutile, à cause de la rapidité des interruptions, de se servir du condensateur.

Autres formes de la bobine d'induction. — Indépendamment de la forme que nous venons de décrire, il existe d'autres dispositifs ayant

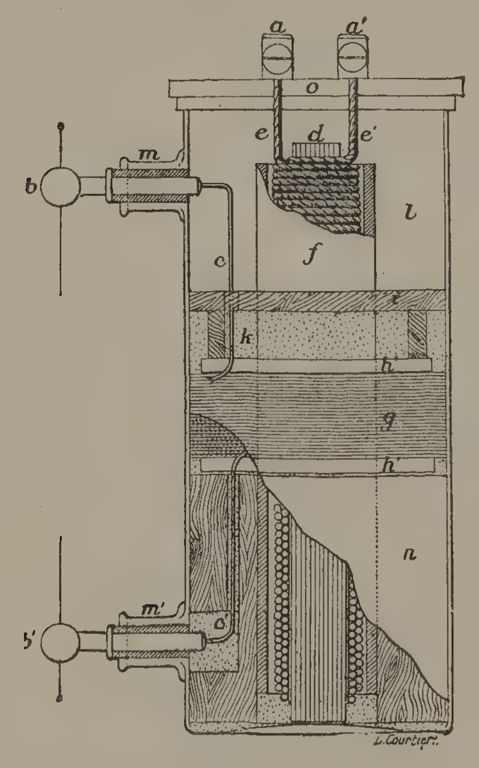


FIGURE 61. — Transformateur Wydts et Rochefort.

pour but d'obtenir une tension plus considérable aux bornes de l'induit. Parmi ces nouvelles formes du transformateur Ruhmkorff, nous signa-

lerons celle adoptée par Wydts et Rochefort (fig. 61). L'inducteur de ce transformateur est le même que dans la bobine d'induction déjà décrite ; il se compose d'un noyau de fer doux *d* autour duquel s'enroule une double couche de gros fil de cuivre *ee'* qui aboutit aux deux bornes *a* et *a'* du courant primaire; un cylindre *f* isolant entoure la bobine primaire.

Quant à l'induit, il est formé d'une seule bobine *g* formée de fil de cuivre de 16/100 de millimètre pesant 600 grammes seulement. Cette bobine secondaire est placée dans la *région médiane* de la bobine primaire ; elle repose sur deux tubes de verre *h'* soutenus par un bloc de bois. Les deux extrémités de l'induit sont reliées à deux bornes *b* et *b'* placées dans les bouchons de deux tubulures *m* et *m'* du vase de verre dans lequel le tout est placé *verticalement*. Le vase de verre est rempli d'un isolant pâteux.

Ce transformateur est remarquable par la grande différence de potentiel du courant transformé : avec 6 volts et 3,3 ampères au primaire, on obtient des étincelles de 20 et 22 centimètres.

Un autre modèle de transformateur à circuit magnétique ouvert que nous devons signaler est celui de Ropiquet : un faisceau de fer est muni à chacune de ses extrémités d'une bobine à gros fil : c'est ce qui constitue l'inducteur ; les deux bobines sont réunies en tension. L'induit occupe la partie médiane et est formé de plusieurs bobines assemblées en quantité ; de plus cet induit est cylindro-conique. L'isolant est constitué par un corps cristallisé au sein d'une masse pâteuse. Cette nouvelle bobine d'induction donne des étincelles de 35 centimètres, avec une dépense d'une dizaine de volts et de 5 ampères.

§ 3. — Forme du courant secondaire d'une bobine de Ruhmkorff.

De même que pour les autres courants déjà étudiés, le courant que l'on recueille aux bornes de la bobine secondaire peut être représenté par une courbe établie en prenant pour ordonnées les forces électromotrices et pour abscisses les temps.

Lorsque le circuit primaire est fermé par l'interrupteur, il se produit une première période variable ; puis, lorsque l'armature est attirée, il y a une seconde période variable. Deux états variables donnent naissance dans le circuit secondaire à deux ondes induites, l'une de fermeture, l'autre de rupture.

Si l'on admet que le courant primaire est rompu aussitôt qu'il a été fermé, c'est-à-dire que l'état permanent n'ait pas le temps de se produire, on pourra représenter la variation du courant primaire par une courbe telle que celle de la figure 62 (courant primaire). Alors le courant secondaire est constitué pendant cette variation par deux courants induits, l'un de fermeture, l'autre de rupture. Si bien que la fréquence du courant induit est le double de celle du courant inducteur : ce que l'on peut exprimer en disant que le premier vibre à l'octave du second.

La forme que nous venons d'indiquer est bien celle que l'on obtient lorsque l'interrupteur est extrêmement rapide comme celui de Vehnelt : les deux ondes induites se suivent immédiatement.

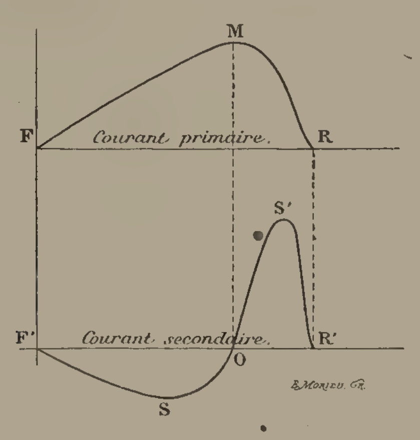


FIGURE 62.

Mais est-ce bien là la forme habituelle du courant secondaire fourni par une bobine de Ruhmkorff? Nous allons montrer que dans les conditions ordinaires de fonctionnement d'une bobine, munie par exemple du trembleur décrit plus haut, la forme du courant transformé est autre.

Supposons que le trembleur puisse faire même un grand nombre de vibrations par seconde, et qu'il y ait par exemple 200 interruptions du courant primaire dans l'unité de temps. L'intervalle qui s'écoule entre le moment précis où commence la période variable de fermeture et celui où celle de rupture se produit est alors de 1/200 de seconde ; entre une rupture et la fermeture suivante, il s'écoule 1/200 de seconde, et ainsi de suite. Portons sur une droite AT (fig. 63) des longueurs AA_1, A_1A_2 proportionnelles

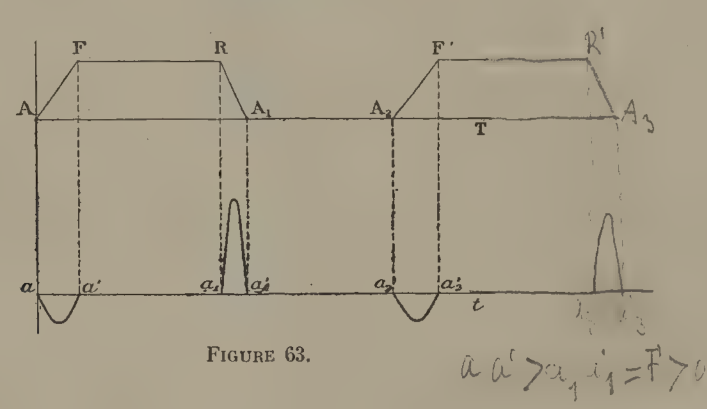


FIGURE 63.

à l'intervalle 1/200 de seconde. Les états variables de fermeture seront représentés par les droites AF, A_2F'...; de F en R, le courant primaire reste fermé puisque la lame reste appuyée pendant ce temps-là contre la pointe

de contact; il s'établit donc un état permanent du courant représenté par la droite FR; en R la période de rupture a lieu et le courant s'annule. A ce moment précis la lame a quitté la pointe, l'armature étant attirée vers le noyau. Le circuit reste donc ouvert pendant l'intervalle A_1A_2 égal à 1/200 de seconde. Puis, la fermeture se produit de nouveau en A_2, et ainsi de suite.

Or, quels sont les phénomènes d'induction auxquels donnent naissance les états variables du courant primaire? Pendant chaque période AF, A_2F'... de fermeture, il se produit une onde induite; pendant les périodes RA_1, $R'A_3$... une onde induite de rupture se manifeste chaque fois dans le secondaire.

Mais pendant les intervalles relativement très longs, FR, A_1A_2, F'R'... correspondant soit au régime permanent du courant, soit à son interruption, il n'y a aucun phénomène d'induction.

Par conséquent, les ondes induites, de fermeture et de rupture, sont espacées les unes des autres par un intervalle beaucoup plus grand que celui pendant lequel elles durent. Il faut remarquer que l'onde induite de fermeture a une durée plus grande que celle de rupture, mais que dans tous les cas les surfaces des ondes induites sont égales, ce qui veut dire que les quantités d'électricité sont les mêmes.

On voit maintenant quelle est la forme du courant secondaire d'une bobine de Ruhmkorff : ce qui le caractérise, c'est l'éloignement des ondes induites qui ne se suivent pas, comme cela avait été représenté plus haut, d'une manière continue et immédiate, mais qui sont au contraire isolées les unes des autres ; il en résulte une brusquerie tout à fait particulière à cette forme de courant, brusquerie d'autant plus marquée que ce sont surtout les ondes de rupture qui comptent, à cause de leur beaucoup plus grande tension. Cette différence de tension entre les deux espèces d'ondes induites peut se mettre facilement en évidence par l'expérience : on fixe aux parachutes de la bobine, là où se termine le fil secondaire, deux fils que l'on peut rapprocher ou éloigner à volonté : si la distance qui sépare les deux fils est faible, les étincelles jaillissent nombreuses ; elles sont dues aux différences de potentiel engendrées par les deux phénomènes d'induction, de fermeture et de rupture.

Mais si l'on éloigne convenablement les extrémités des fils, on constate que les étincelles deviennent moitié moins nombreuses, cela prouve par conséquent qu'il n'y a que les ondes de rupture qui ont pu fournir une tension suffisante pour que le courant soit capable de vaincre la résistance de l'air placé entre les deux fils. Dans ces conditions, le sens du courant qui se manifeste sous forme d'étincelles *reste le même*, au lieu d'être alternatif : c'est un courant formé de véritables à-coups, ou de pulsations très brusques dues aux ondes de rupture, relativement très éloignées les unes des autres.

Quand on exprime la puissance d'une bobine d'induction par la longueur des étincelles qu'elle peut fournir, ce sont précisément les seules ondes de rupture qui établissent la tension nécessaire à la production de ces étincelles de 10, 15, 20, 25, 55 centimètres. Alors, dans ce cas, tout se passe comme si

les décharges provenaient d'un courant continu de *sens constant* : c'est pour cette raison qu'on peut parler de la cathode et de l'anode d'une bobine de Ruhmkorff : les ondes de fermeture étant, nous le répétons, incapables de donner une assez grande tension pour franchir l'intervalle des parachutes. Les deux pôles d'une bobine puissante se reconnaissent facilement : les étincelles qui jaillissent entre les extrémités des fils ont la forme d'une arborescence accompagnée de ramifications latérales. L'anode est le pôle d'où partent en divergeant ces ramifications latérales. Il existe encore d'autres moyens pour reconnaître le signe des pôles d'une bobine ; mais nous n'avons pas à y insister ici.

§ 4. — Transformateurs à circuit magnétique fermé.

Cette catégorie de transformateurs est surtout utilisée en électricité industrielle : il est en effet souvent nécessaire de transporter l'énergie électrique sous forme de courants de faible intensité. Si R est la résistance de la ligne, la puissance perdue est RI^2 et celle-ci doit être réduite autant que possible ; pour cela, il est bien préférable de diminuer l'intensité que la résistance R ; cette diminution de la résistance d'une ligne est en effet une opération très coûteuse, puisqu'elle revient à augmenter la section des conducteurs et par conséquent le poids du fil de ligne.

On est donc obligé de donner au courant à transporter une intensité faible, mais avec une force électromotrice très grande, pour que l'énergie transportée soit suffisante, et pour que la grandeur de E compense la faiblesse de I dans le produit E I.

Mais pour utiliser le courant de haute tension transporté, il faut réduire à l'arrivée la force électromotrice en augmentant l'intensité ; tel est le but des transformateurs industriels : le problème est, comme on le voit, l'inverse de celui que résout la bobine de Ruhmkorff. Le circuit primaire doit donc contenir un nombre de spires beaucoup plus grand que le circuit secondaire : ces deux circuits entourent un noyau de fer lamellaire *fermé* sur lui-

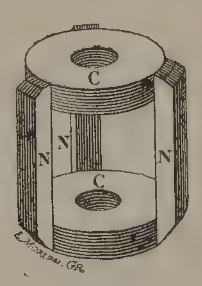


FIGURE 64.

même. Le fil primaire étant le siège de forces électromotrices énormes doit être soigneusement isolé et être séparé du fer du noyau et de l'enroulement secondaire par un intervalle isolant d'au moins 1 centimètre.

Comme nous l'avons indiqué plus haut, les transformateurs de cette catégorie sont actionnés par du courant alternatif.

Transformateurs pour les courants triphasés. Ici, on doit enrouler les bobines de chaque phase autour de noyaux communiquant par des culasses CC (fig. 64) en forme d'anneaux : le flux dans les noyaux N, N, N, est égal à $\sqrt{3}$ fois le flux dans les culasses. Quelquefois les trois noyaux sont rangés en ligne droite et réunis par des culasses prismatiques.

§ 5. — **Rendement des transformateurs.**

L'examen des résultats fournis pendant les essais des transformateurs montre que leur rendement est excellent, lorsqu'ils fonctionnent au débit maximum ; mais ce rendement diminue lorsque le débit est faible contrairement à ce qui a lieu avec les accumulateurs. Cependant dans les bons transformateurs, le rendement dépasse ordinairement 90 p. 100 à quart de charge.

La charge maxima est appliquée tous les jours, mais pendant un nombre d'heures très limité, dans l'application des transformateurs à la distribution de l'énergie électrique en vue de l'éclairage. Pendant le reste de la journée, la charge est faible ou nulle et le courant primaire est dépensé en pure perte.

La principale dépense d'énergie pendant la marche à vide ou à faible débit d'un transformateur est produite par les phénomènes d'hystérésis très accusés dans un noyau fermé par suite de la force coercitive considérable de celui-ci.

Dans certains systèmes de distribution d'énergie électrique par courants alternatifs monos ou triphasés, les transformateurs, au lieu d'être installés isolément dans les habitations, sont réunis en dérivation par groupes dans des postes de distribution secondaires. Un mécanisme automatique relie successivement ces appareils avec le réseau des alternateurs au fur et à mesure que la consommation s'accroît ; de cette manière le nombre des transformateurs en action est tel que chacun d'eux fonctionne sous une charge voisine de la charge maxima, c'est-à-dire dans les meilleures conditions pour un bon rendement.

CHAPITRE IV

SOURCES DE COURANT DE HAUTE FRÉQUENCE

Les alternateurs que nous connaissons et la bobine de Ruhmkorff munie d'un trembleur rapide ne peuvent pas fournir une fréquence dépassant une dizaine de mille de périodes par seconde. Pour obtenir une fréquence plus grande, on utilise la décharge oscillante des condensateurs.

§ 1. — Considérations générales.

On sait que tout condensateur comprend deux corps bons conducteurs séparés par une substance isolante, verre, paraffine, air, etc. Les constantes physiques d'un condensateur sont : 1° la capacité C ; 2° le coefficient de self-induction propre L ; 3° la résistance électrique R des deux conducteurs.

Si l'on relie par un arc bon conducteur les deux armatures E et I, en terminant l'arc et l'armature interne par une boule, et si l'on établit entre

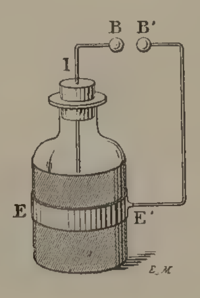


Figure 65.

les deux conducteurs une différence de potentiel graduellement croissante, il arrivera un moment où le condensateur se déchargera sur lui-même.

La décharge sera oscillante, si l'inégalité

$$R^2 < \frac{4L}{C}$$

est satisfaite : le courant de décharge oscille alors périodiquement entre des valeurs positives et négatives décroissant rapidement. Ce courant oscillant

repasse par les mêmes phases à des intervalles de temps égaux, et ces intervalles ont pour valeur commune (lorsque R est négligeable devant $2\sqrt{\frac{L}{C}}$,)

$$T = 2\pi\sqrt{CL},$$

qui est la période de la décharge : on peut calculer T si on connaît C et L ; la valeur trouvée est de l'ordre des cent millionièmes de seconde ; si C est égal à 1 microfarad, ce qui est une grosse capacité pourtant, et si L vaut $\frac{1}{1000}$ de quadrant, la valeur de T est 63 millionièmes de seconde.

La période T peut être encore bien plus petite et être égale à 1 billionième de seconde.

Le condensateur terminé par les deux boules B et B′ (fig. 65) se décharge une fois qu'il a été amené à un certain potentiel et vibre alors d'une façon intense pendant un temps égal à la période de l'oscillation et que nous supposerons être par exemple d'un billionième de seconde ; pendant le biiollnième suivant, il vibrera d'une façon moins intense ; pendant le troisième billionième, encore moins, etc.

On peut assimiler le condensateur à un diapason auquel on communiquerait un ébranlement initial, et qui reviendrait peu à peu à l'état de repos ; mais si l'on voulait que le diapason, au lieu de s'éteindre, continuât à produire un son, il n'y aurait qu'à redonner de temps en temps par des chocs successifs une impulsion nouvelle.

De même pour notre appareil électrique, si l'on voulait entretenir la décharge, si prompte à se faire, il faudrait, tous les billionièmes de seconde, communiquer au condensateur la charge primitive. Ce n'est évidemment pas aux moyens mécaniques que l'on peut avoir recours pour cela. Hertz a résolu la difficulté en utilisant l'étincelle électrique.

Supposons que l'on mette en relation les deux conducteurs formant le condensateur précédemment considéré avec les bornes d'une bobine de Ruhmkorff : lorsque celle-ci sera en fonctionnement, ces deux conducteurs seront portés à des potentiels égaux et de signe contraire ; à un certain moment la différence de potentiel sera telle que la décharge des deux conducteurs se fera à travers l'air séparant les deux boules B et B′, en reproduisant la forme de la courbe précédemment étudiée, c'est-à-dire d'une manière oscillatoire et avec une fréquence énorme, mais, à mesure que la décharge du condensateur s'effectuera, la charge primitive se reformera à sa valeur initiale et la décharge oscillante continuera, comme le diapason de tout à l'heure continuait à émettre un son permanent quand on l'excitait périodiquement.

Voilà un premier point acquis : la possibilité de la continuité de la décharge oscillante. Pour s'expliquer ces phénomènes et s'en rendre mieux compte, il faut se rappeler que le diélectrique d'un condensateur chargé est soumis à une tension comparable, si l'on veut, à celle d'un ressort. Si la

cause qui produit la tension électrique vient à disparaître brusquement, le diélectrique revient à sa position initiale après avoir effectué des oscillations comparables à celles que décrit un ressort subitement détendu.

Les oscillations du ressort considéré seront facilitées si le milieu qui l'entoure est peu résistant, peu visqueux : de même, si la résistance électrique du système chargé d'électricité est très petite, la décharge se fera plus rapidement.

Enfin, la période des oscillations d'un ressort dépend de sa masse ou de son inertie ; de même encore, la période de la décharge électrique sera d'autant plus courte que le coefficient de self-induction qui représente l'inertie magnétique sera plus faible. L'analogie, on le voit, est à peu près complète entre les phénomènes élastiques et les phénomènes de la décharge oscillante : la comparaison que nous avons faite avec le diapason est donc pleinement justifiée, d'autant plus qu'elle aide bien à comprendre le mécanisme des phénomènes électriques.

Cette comparaison pourrait d'ailleurs être poussée plus loin encore, car elle peut servir à expliquer la résonance électrique découverte par Hertz ; mais nous n'avons pas besoin d'en exposer le principe pour le sujet que nous traitons ici : nous y reviendrons à propos d'une forme de courant produite avec la machine statique et appelée la *franklinisation hertzienne.*

§. 2. — **Dispositif à employer.**

Maintenant que nous connaissons le moyen d'obtenir une très grande fréquence, voyons le dispositif que l'on peut employer pour produire ces courants si remarquables : Tesla a d'abord réalisé leur obtention de la façon suivante (fig. 66) : une bobine de Ruhmkorff B′ dont le primaire est pourvu

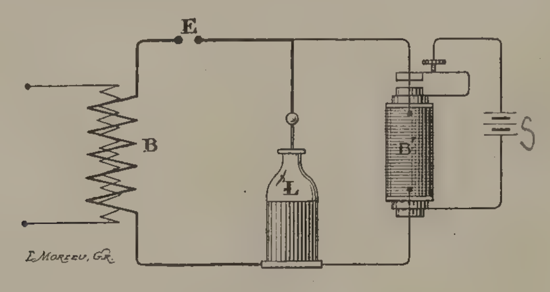


FIGURE 66.

d'un interrupteur, développe des tensions élevées, à une fréquence de 200 à 300. Les courants secondaires servent à charger un condensateur, une bouteille de Leyde L, qui se décharge en produisant des courants oscillants dans le circuit primaire d'un solénoïde B à gros fil.

Pour faire varier la fréquence du courant oscillant, il suffit de modifier la résistance du circuit de décharge, en changeant par exemple la longueur des étincelles E. On peut faire agir le solénoïde B sur une bobine à fil fin :

la tension du courant induit dans la seconde bobine est considérable ; aussi faut-il avoir soin de plonger le système B de l'inducteur et de l'induit dans un isolant liquide, tel que de l'huile lourde. Nous reviendrons plus loin sur cette possibilité d'augmenter la tension des courants de haute fréquence par le procédé et par un autre imaginé par Oudin.

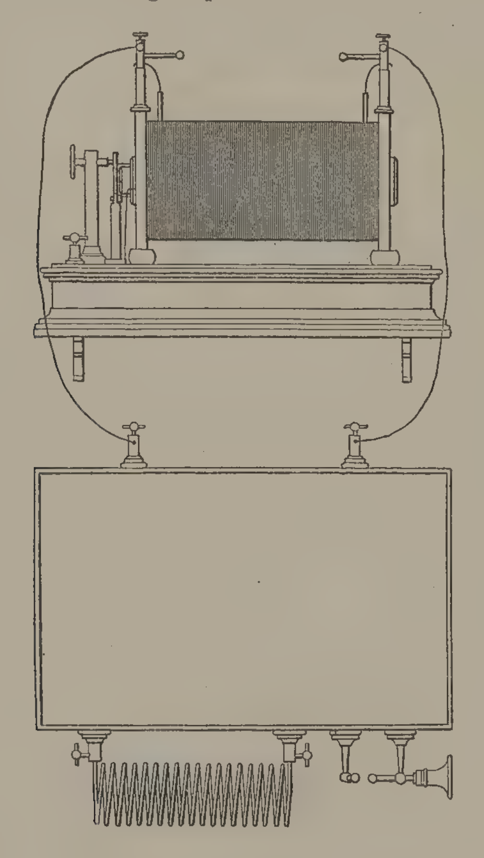


FIGURE 67.

Les courants de haute fréquence ont surtout été étudiés par d'Arsonval, tant au point de vue physique qu'au point de vue physiologique.

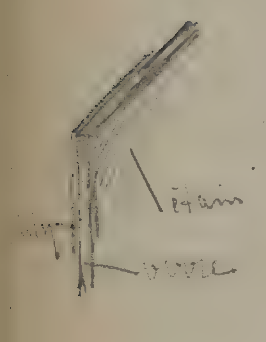
Un des dispositifs employés par l'éminent professeur du Collège de France pour obtenir des courants de haute fréquence plus énergiques que ceux fournis par l'appareil primitif de Tesla, consiste à monter en cascade deux bouteilles de Leyde dont les armatures internes sont reliées aux bornes d'une bobine de Ruhmkorff.

Les armatures externes sont réunies entre elles par un solénoïde formé d'un gros fil de cuivre faisant quinze à vingt tours. Dans ces conditions, chaque fois qu'une étincelle jaillit, un courant oscillant de haute fréquence prend naissance dans le solénoïde.

L'énergie des courants ainsi obtenus peut être mise en évidence en fixant

aux extrémités du solénoïde deux fils tenus par deux personnes, entre lesquelles est interposée une lampe à incandescence.

Au lieu d'utiliser des bouteilles de Leyde comme condensateurs, on peut prendre deux condensateurs plans formés chacun par une lame de verre sur les deux faces de laquelle on colle des feuilles de papier d'étain (fig. 67). Dans la figure, les deux condensateurs sont renfermés dans une boîte sur un côté de laquelle on voit le *détonateur* siège des étincelles, et le solénoïde.





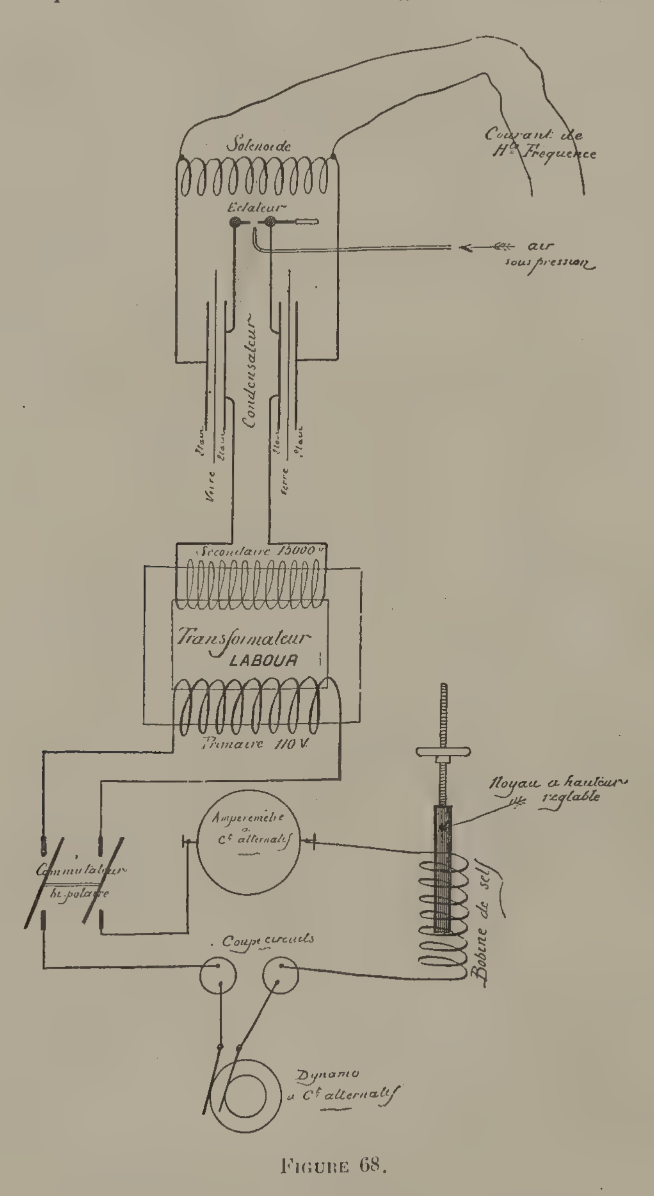
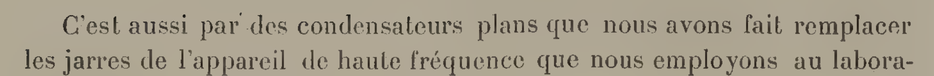


FIGURE 68.


C'est aussi par des condensateurs plans que nous avons fait remplacer les jarres de l'appareil de haute fréquence que nous employons au labora-

toire de physique de la Faculté de médecine de Lyon ; avec une bobine de Ruhmkorff de grande puissance et un interrupteur de Wehnelt, les jarres se crevaient très souvent, si l'intensité du courant primaire atteignait 15 à 16 ampères. Avec des condensateurs plans, l'uniformité d'épaisseur du diélectrique est bien mieux réalisée et ce très grave inconvénient ne se produit pas.

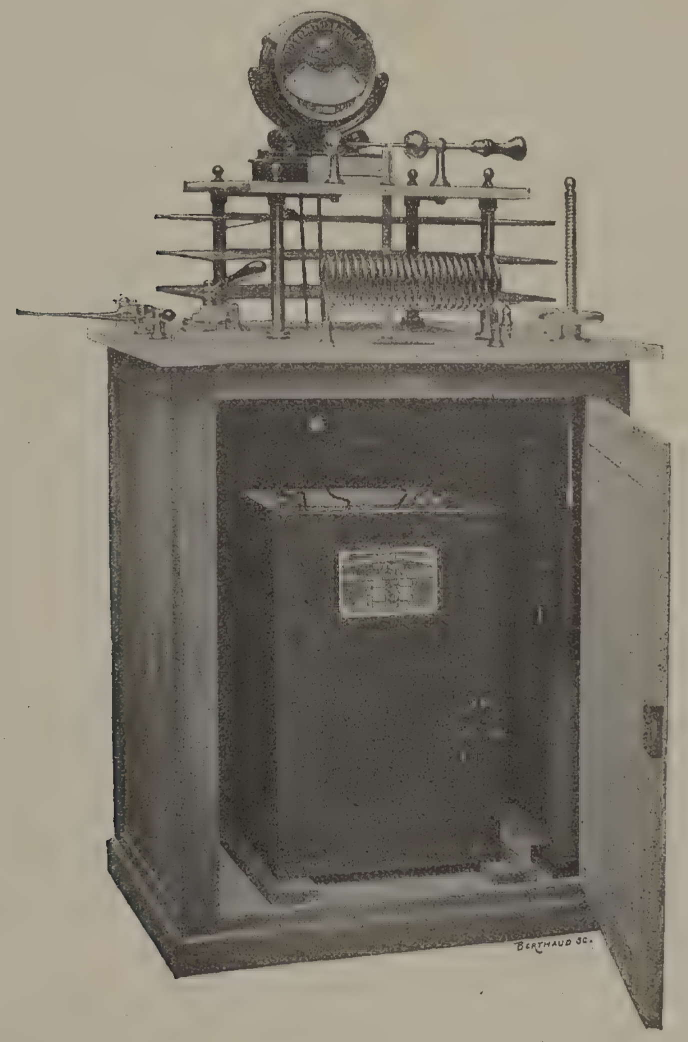


FIGURE 69.

Un autre procédé a été indiqué par d'Arsonval pour la production des courants de haute fréquence de très grande énergie. On n'utilise plus la bobine de Ruhmkorff, mais un autre transformateur, à circuit magnétique fermé, actionné par du courant alternatif (fig. 68). Le dispositif comprend : 1° un circuit inoffensif parcouru par un courant alternatif à basse fréquence

et à 110 volts ; 2° un second circuit dangereux parcouru par un courant de *haut potentiel et de basse fréquence ;* 3° le circuit parcouru par les oscillations de haute fréquence comprenant un solénoïde à gros fil.

Le premier circuit est relié à un alternateur à courants alternatifs ou plus commodément à la canalisation industrielle d'une usine centrale d'électricité ; ce circuit comprend un *régulateur* de courant (bobine de self), un ampèremètre pour courants alternatifs et le primaire d'un transformateur Labour.

Le régulateur imaginé par d'Arsonval, placé dans le circuit primaire, est formé d'une simple bobine de self, dont le noyau de fer est mobile au moyen d'une vis : en s'enfonçant ou en s'éloignant ce noyau fait varier dans des proportions énormes la résistance apparente de la bobine et permet par conséquent de graduer l'énergie électrique dépensée dans le primaire.

Quant au transformateur (fig. 69), il est construit avec de grandes précautions pour obtenir un isolement parfait et un rendement considérable ; il est enfermé dans un récipient métallique et entièrement plongé dans de la paraffine, ce qui rend l'isolement très sûr. En appliquant un courant primaire de 110 volts, on recueille aux bornes du secondaire une tension de 15.000 volts.

Ce transformateur est logé dans l'intérieur du meuble au-dessus duquel sont les condensateurs et le détonateur.

Le second circuit à basse fréquence, mais à haut potentiel doit être mis à l'abri d'un contact imprudent ; pour cela, les fils bien isolés sortant du transformateur sont immédiatement reliés aux armatures des condensateurs.

Les étincelles provenant des décharges des condensateurs sont tellement serrées qu'il est utile, pour empêcher l'arc véritable qu'elles forment, de les *souffler ;* dans ce but, on peut faire agir sur elles un champ magnétique intense, ou bien diriger dans l'intervalle des deux boules du détonateur le courant d'air d'une tuyère ; la pression peut être obtenue à l'aide soit d'une trompe soufflante, soit d'une pompe à compression.

Le troisième circuit est constitué par les fils partant des armatures externes des condensateurs et par le solénoïde à gros fils. Les fils d'utilisation des courants de haute fréquence partent des extrémités du solénoïde jouant le rôle de source.

Le circuit d'utilisation est donc le siège de courants de haute fréquence ; l'intensité efficace de ces courants peut être estimée en comparant deux morceaux d'un même fil de platine portés à l'incandescence, l'un par un courant continu, et l'autre par le courant de haute fréquence ; mais, comme le fil absorbe une notable fraction de l'énergie totale, on trouve que l'intensité varie avec la résistance du fil employé.

Ces mesures sont très difficiles à faire : il serait bien à désirer cependant que les constructeurs puissent fabriquer un *wattmètre* permettant de connaître la valeur de l'énergie dépensée dans le circuit d'utilisation de haute fréquence. On saurait ainsi dans quelles conditions chaque expérimentateur

se trouve placé quand il étudie l'action si intéressante de ces courants, conditions qui pourraient ensuite être reproduites par d'autres observateurs.

§ 3. — Propriétés physiques des courants de haute fréquence.

Ces courants se distinguent par trois propriétés essentielles des courants alternatifs ordinaires ; les différences sont dues à la fois à la grande fréquence et aux tensions élevées mises en jeu.

Ils donnent lieu à des phénomènes d'induction particulièrement intenses ; en outre, dès qu'une capacité entre en jeu, ils circulent aussi bien dans les circuits ouverts que dans les circuits fermés, en sorte que le contact avec un seul pôle suffit pour donner du courant.

La force électromotrice d'induction engendrée dans un conducteur voisin est proportionnelle au produit de l'intensité par la fréquence ; ainsi un ampère moyen, à la fréquence de 600.000, produira dans une spire la même force électromotrice d'induction que 100 ampères à la fréquence de 60 circulant dans 100 tours de fil, toutes choses égales d'ailleurs.

Par conséquent, avec la haute fréquence, la force électromotrice induite

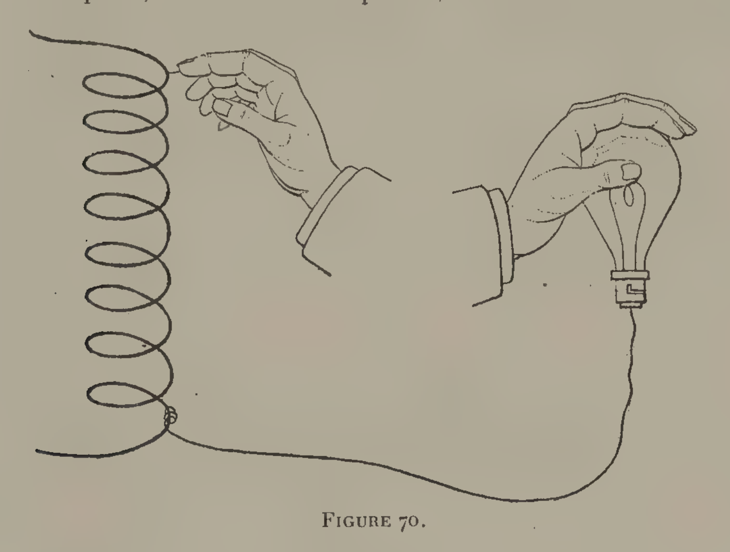


FIGURE 70.

dans une seule spire, soit par self-induction, soit par induction mutuelle, est considérable ; si l'on relie les armatures externes des condensateurs aux extrémités d'un grand solénoïde, il suffira de prendre une seule spire placée dans l'intérieur ou à l'extérieur pour allumer par induction mutuelle une lampe à incandescence de 8 volts et un ampère.

Des forces électromotrices très élevées apparaissent encore d'une spire à l'autre du solénoïde ; on peut en effet tirer, en mettant un excitateur sur deux spires consécutives, des étincelles de plusieurs millimètres.

Ces courants peuvent se propager, avons-nous dit, dans des circuits ouverts dès que les corps en présence ont une certaine capacité. Si faible

que soit la valeur de celle-ci, la répétition de la charge et de la décharge des centaines de mille fois par seconde, sous un potentiel élevé, produit un courant moyen d'intensité notable.

C'est ce qui explique les courants unipolaires et les étincelles que l'on obtient en touchant un seul point du solénoïde.

Dans ce cas, le corps constitue un conducteur qui se charge à chaque oscillation d'une quantité d'électricité à peu près constante, dès qu'il est à une certaine distance du solénoïde.

La charge correspondante de signe contraire doit se trouver sur les parties du solénoïde qui sont, à ce moment, à un potentiel différent. On comprend donc pourquoi les étincelles que l'on tire d'un solénoïde sont maxima aux extrémités et minima au milieu.

L'illumination des lampes s'explique également par des effets de condensation ; dans ce cas, c'est le verre qui joue le rôle de diélectrique, le vide intérieur et le filament formant l'une des armatures, la peau de la main l'autre ; on voit dans les conditions de l'expérience que la lampe s'illumine d'une belle fluorescence bleue ; le courant moyen qui correspond à cette illumination peut atteindre 80 milliampères. Si l'on augmente suffisamment le potentiel, le filament de charbon s'entoure d'une zone lumineuse de plus en plus éclatante, et finit par devenir lui-même incandescent.

§. 4. — Élévation de la tension des courants de haute fréquence.

Cette tension peut être augmentée en faisant produire au solénoïde considéré jusqu'à présent des phénomènes d'induction sur un autre solénoïde. On peut atteindre ce résultat de deux manières : la première a été indiquée par Tesla et d'Arsonval ; la seconde, par Oudin.

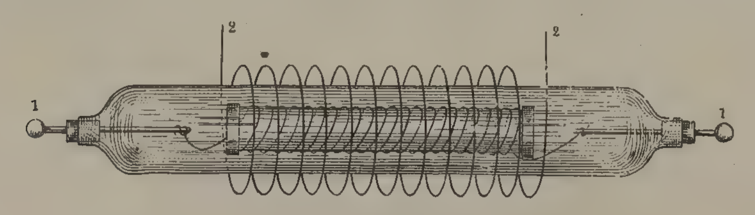


FIGURE 71.

1° A l'intérieur du solénoïde ordinaire à gros fil (2') (fig. 71), on place une bobine à fil fin constituée par un grand nombre de tours; pour empêcher les étincelles dues à l'énorme tension obtenue, on doit isoler les différentes spires de la seconde bobine au moyen d'un isolant et pour ne pas être obligé de réparer les détériorations produites si ces étincelles se produisaient, on emploie un isolant liquide qui se répare de lui-même s'il vient à être crevé; c'est en effet dans de l'huile que le système des deux bobines est immergé.

Aux bornes de la bobine induite ou à une seule des bornes, on recueillera un véritable torrent d'étincelles pouvant atteindre 15 à 20 centimètres.

Au lieu de prendre une bobine à fil fin placée très près du solénoïde, le tout étant plongé dans l'huile, on peut élever considérablement la tension en constituant, comme l'a fait récemment d'Arsonval, un solénoïde à gros fil de grand diamètre intérieur (fig. 72) et en enroulant sur un cylindre en ébonite un fil de cuivre fixé à deux bornes terminales.

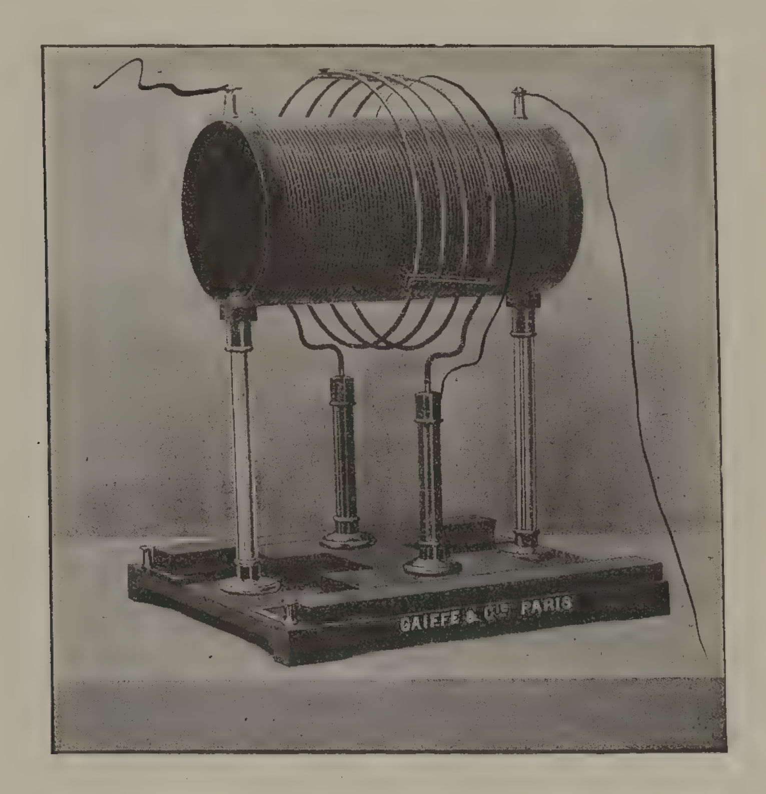


FIGURE 72.

Le solénoïde inducteur est mobile sur une planchette et peut être placé soit à une extrémité, soit au milieu du solénoïde induit. S'il occupe la position médiane, on obtient à chaque borne du fil induit deux aigrettes de même puissance ; l'appareil est alors *bipolaire*. Si, au contraire, on met le solénoïde mobile à une extrémité, on obtient à l'autre extrémité une aigrette très puissante, surtout si on a soin de relier la borne, placée du même côté que le solénoïde inducteur, au sol.

2° Le deuxième moyen permettant d'élever la tension des courants de haute fréquence consiste à faire agir le solénoïde à gros fil sur un autre solénoïde placé à la suite du premier, juxtaposé pour ainsi dire au premier.

La figure 73 montre en AB les deux extrémités du solénoïde habituel relié aux armatures externes des condensateurs ; le fil de ce solénoïde se continue, comme on voit, de A en D.

Si l'on rend le contact A mobile sur le fil de cuivre R, on verra la tension qui se manifeste en D par la production d'aigrettes ou d'étincelles, augmenter jusqu'à une certaine position du contact A. Dans l'obscurité, il est commode de faire le réglage du contact mobile, puisqu'il suffit de déplacer celui-ci le long du fil enroulé en solénoïde jusqu'à ce que l'aigrette D ait la plus grande longueur possible.

Il y a en effet un certain rapport à donner aux deux parties inductrices

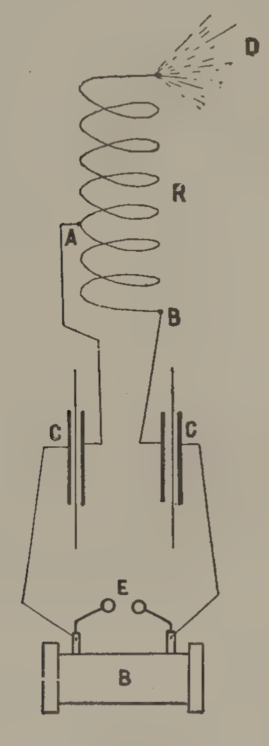


FIGURE 73.

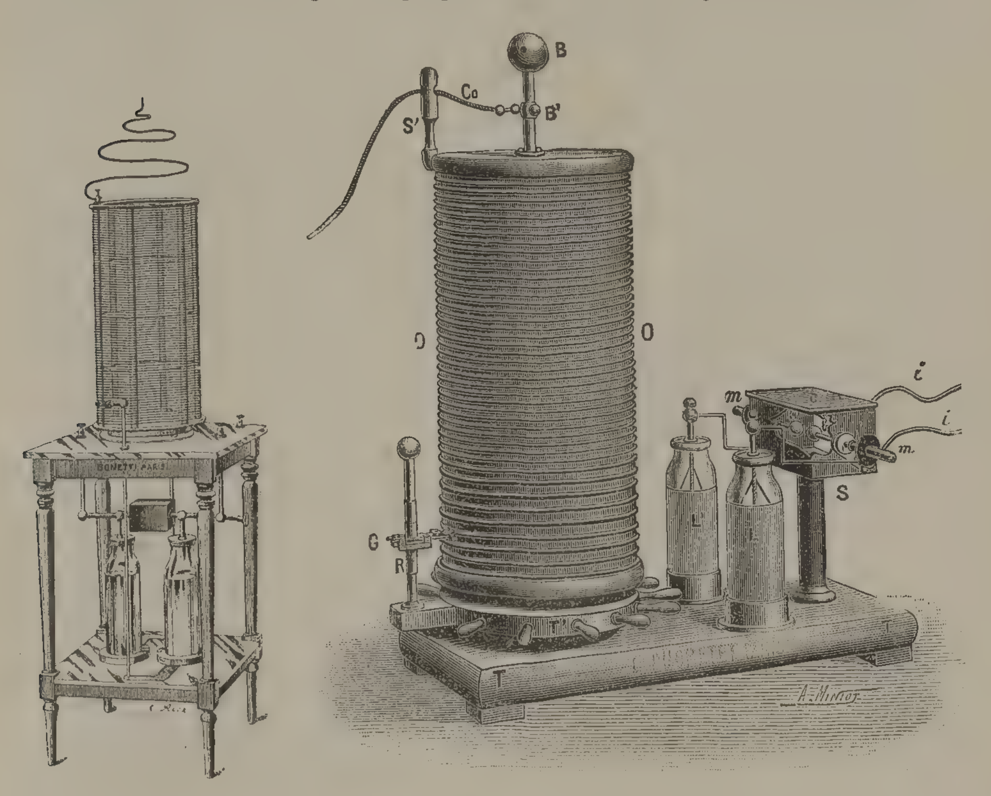
et induites du solénoïde R ; pour obtenir le maximum d'effet, l'utilité d'établir un réglage et par suite un rapport dans les deux portions inducto-inductrices de ce solénoïde unique est due à un phénomène de self et à un phénomène de capacité.

L'ensemble des deux solénoïdes a été appelé, à cause du réglage que l'on doit faire pour avoir la plus grande tension possible à l'extrémité du fil induit, *résonateur*. C'est là évidemment une expression impropre, car il n'y a là rien de commun avec la résonance électrique telle qu'on la connaît d'après les expériences de Hertz, et que nous décrirons plus loin sommairement.

Il vaudrait mieux adopter l'expression de *solénoïde à haute tension*, actionné par des courants de haute fréquence. On en a construit un grand

nombre de modèles (fig. 74 et 75) reposant tous sur le principe énoncé plus haut.

Si on fixe à l'extrémité d'un de ces solénoïdes à haute tension un fil en forme de limaçon et que l'on règle convenablement le contact mobile, on obtient de très belles aigrettes qui partent des dernières spires du solénoïde,



FIGURES 74 et 75.

du fil contourné, et surtout de son extrémité où se manifeste un panache bleu violet de la plus grande beauté. Ces aigrettes sont accompagnées d'une très grande production d'ozone, dont l'action physiologique a été étudiée par nous-même dans un mémoire paru récemment (Voir *Archives d'électricité médicale*, 1901).

§ 5. — Remarques sur les courants fournis par les différentes sources d'électricité.

Nous venons de voir les sources de courants continus, de courants alternatifs et les courants de haute fréquence : nous allons maintenant aborder l'étude d'une autre source d'électricité, l'électricité statique, qui, à première vue, paraît différer des précédentes. Il est indispensable, en terminant cette étude des sources électriques, de montrer qu'il n'y a pas deux électricités diffé-

rentes. Il ne faudrait pas croire en effet que l'électricité statique, comme le terme « statique » paraît l'indiquer, est incapable de donner naissance à un courant. Pour démontrer l'existence du courant dû à cette forme d'électricité, et l'analogie de ce courant avec celui provenant d'une source de courant continu ou alternatif, prenons un fil métallique fin (fig. 76) que nous fixerons à la boule polaire B d'une puissante machine électrostatique et que nous avons eu soin de terminer par une petite boule métallique a. Actionnons alors la machine de façon à lui communiquer une bonne charge et à porter ses collecteurs à un potentiel élevé. Rapprochons alors brusquement la boule polaire mobile A de l'extrémité a du fil ; nous constaterons que le fil est volatilisé si sa section a été choisie convenablement. Ce phénomène thermique est dû au courant qui, par suite de la différence de potentiel qui existait entre les deux pôles A et B, s'est propagé le long du fil aB.

Fixons de même ce fil métallique à la borne B_1 d'une prise de courant continu ou alternatif; puis produisons le contact de l'extrémité a_1 du fil avec l'autre pôle A_1 de la source d'électricité. Nous constaterons là aussi la fusion et la volatilisation du fil a_1B_1.

On le voit, l'analogie est complète : l'électricité statique est donc capable de produire un courant à travers un conducteur, absolument comme

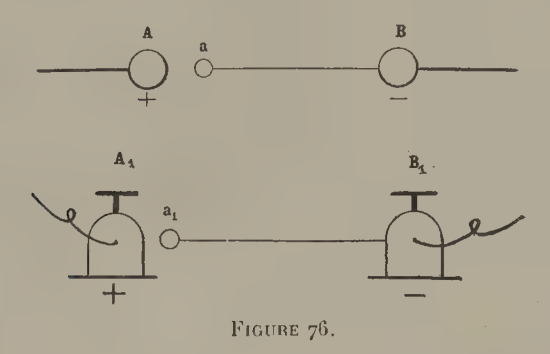


FIGURE 76.

l'électricité provenant des piles, des accumulateurs, des dynamos, etc. Cette forme d'électricité n'est donc pas plus en équilibre que les autres formes ; il suffit seulement de lui donner les moyens de se mouvoir.

Ce qui caractérise l'électricité que nous allons étudier et ce qui la différencie de celle des sources constituées par les piles ou les dynamos, c'est que, d'une part, la tension électrique et, d'autre part, la quantité d'électricité sont très différentes si on les compare respectivement aux mêmes grandeurs des autres sources d'électricité.

On peut prendre certains faits de l'hydraulique pour mieux comprendre ce qui a lieu en électricité : soit un tube très étroit et de plusieurs mètres de haut fermé à un bout B (fig. 77) et plein d'eau ; prenons, d'autre part, un vase très large $A_1B_1A_1'B_1'$ mais élevé de quelques centimètres seulement et contenant de l'eau. Si le tube et le vase reposent par leurs bases B et B_1B_1'

sur un même plan horizontal, le niveau de l'eau dans les deux vases sera très différent ; il sera très haut en A dans le tube, et beaucoup plus faible en A_1A_1' dans le vase. Mais, par contre, la quantité de liquide sera très petite, presque négligeable dans le tube capillaire AB, tandis qu'elle sera beaucoup plus grande dans le vase ; on a compris facilement que le tube AB est l'image hydraulique de l'électricité statique, et que le vase est celle de l'électricité des piles ou des dynamos.



FIGURE 77.

Si la quantité d'électricité mise en jeu dans les phénomènes dus à l'électricité statique est très faible, on doit s'attendre à trouver dans ces phénomènes une énergie beaucoup moins considérable que dans ceux produits par les autres formes d'électricité déjà étudiées.

Le travail électrique, qui est le produit de la tension par la quantité et la puissance électrique, qui est le produit de la tension par l'intensité, devront donc être bien plus petits que les mêmes grandeurs dans les autres formes de l'énergie électrique.

Docteur H. BORDIER,

Professeur agrégé
à la Faculté de Médecine de Lyon.

CHAPITRE V

SOURCES D'ÉLECTRICITÉ STATIQUE

§ 1. — Considérations générales sur les machines statiques.

Les machines électrostatiques sont des appareils destinés à transformer le travail mécanique en énergie électrique ; elles fournissent de très petites quantités d'électricité sous de très fortes tensions.

La première machine électrostatique, construite en 1672 par Otto de Guéricke, de Magdebourg, consistait en une sphère de soufre montée sur un axe que l'on faisait tourner à la main, l'électricité résultait du frottement par la main de la surface de la sphère pendant sa rotation. Au soufre, on substitua bientôt la résine, puis un cylindre de verre. En 1760, Ramsden remplaça le cylindre par un plateau, et, pour frictionner, la main par deux paires de coussins. La machine de Ramsden a été employée presque exclusivement dans les laboratoires pendant plus d'un siècle pour la production de l'électricité statique.

Le rendement de la machine de Ramsden et de toutes les machines à frottement est très faible, la plus grande partie de l'énergie fournie à l'appareil est changée en chaleur par le frottement, une très faible partie seulement est transformée en énergie électrique.

Influence. — Lorsqu'un conducteur est isolé dans le voisinage d'un corps électrisé, la partie de ce conducteur voisine du corps électrisé prend une charge de sens contraire à celle de ce corps, la partie la plus éloignée une charge de même sens. Ce phénomène est désigné sous le nom d'*influence électrique* et quelquefois sous celui d'*induction électrostatique*. Si l'on fait communiquer un instant avec le sol l'extrémité du conducteur la plus éloignée du corps électrisé, puis la communication avec le sol étant interrompue, si l'on éloigne le corps électrisé, dit influent, du conducteur isolé, influencé, celui-ci se trouve avoir une charge électrique de signe contraire à celle du corps influent. Il est donc possible, par ce phénomène de l'influence, de communiquer à un conducteur une charge électrique. Les machines électrostatiques employées actuellement sont des machines à influence ; c'est l'énergie mécanique, employée à produire les différentes

opérations que nous venons de décrire, que ces machines transforment en énergie électrique. Leur rendement est bien plus élevé que celui des machines à friction.

L'influence électrique fut étudiée par Otto de Guéricke, Hawksbee, Gray, Canton, Wilke, Epinus, etc., mais l'électrophore de Volta constitue la première machine à influence ; il est formé d'un plateau de résine que l'on électrise par friction, et d'un plateau conducteur muni d'un manche isolant ; ce plateau se charge par les opérations que nous avons décrites pour charger un corps influencé. Ce fut des perfectionnements successifs de l'électrophore de Volta que naquirent les machines à influence modernes dont deux modèles surtout sont employés en médecine, le machine de Holtz et la machine de Wimshurst.

§ 2. — **Machine de Holtz.**

En 1865, Holtz, de Berlin, inventa une machine électrostatique à influence qui, malgré certains inconvénients, donnait des résultats bien supérieurs à ceux des machines à friction.

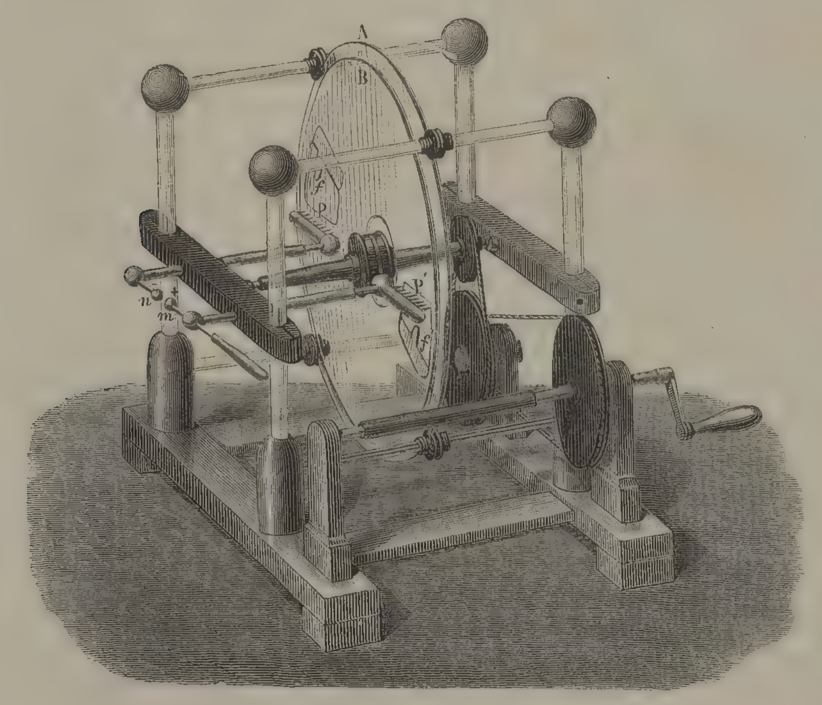


FIGURE 78. — Machine de Holtz.

La machine de Holtz (fig. 78) est formée d'un plateau de verre fixe A et d'un autre plateau B d'un diamètre moindre, mobile autour d'un axe horizontal qui traverse le centre du plateau fixe, les deux plateaux sont très rapprochés l'un de l'autre, sans se toucher. Le plateau fixe est percé d'une fenêtre *f*

à chacune des extrémités de son diamètre horizontal; il porte, sur la face opposée au plateau mobile, près de l'un des bords de chacune des fenêtres, une armature de papier, pourvue d'une languette se terminant dans la fenêtre, et dont la pointe doit se trouver dirigée en sens inverse du mouvement du plateau mobile. Près de la face extérieure du plateau tournant, en face des fenêtres, sont deux peignes métalliques P P′ isolés, portant deux tiges conductrices, terminées à une extrémité par une boule métallique, à l'autre par un manche isolant, ces tiges glissent dans leurs supports de façon à permettre d'éloigner l'une de l'autre les boules, ou de les rapprocher jusqu'au contact. Ces boules constituent les pôles ou électrodes de la machine. En faisant varier la distance des boules, on règle la longueur des étincelles. La tige conductrice transversale, terminée par un balai à chacune de ces extrémités, est appelée tige neutralisante et destinée à empêcher le renversement des pôles de la machine.

Pour mettre la machine en route, il faut charger une des armatures de papier avec un corps électrisé ; on emploie habituellement à cet effet une plaque d'ébonite frottée avec une peau de chat ; les deux électrodes étant en contact, on fait tourner rapidement le plateau mobile, lorsque la machine s'amorce, on entend un crépitement ; le peigne devant lequel on a amorcé l'armature avec une plaque d'ébonite présente sur ses pointes des aigrettes lumineuses produites par une décharge positive, l'autre peigne porte des points lumineux et laisse couler une charge négative; si l'on éloigne alors les électrodes, des étincelles éclatent entre elles. L'électricité de chacun des pôles est de signe contraire à celle du peigne correspondant. L'étincelle est grêle et affecte la forme d'aigrette, ce qui tient aux petites quantités d'électricité qui se déchargent incessamment par suite de la faible capacité des conducteurs. On augmente cette capacité en suspendant à chaque conducteur une bouteille de Leyde par la tige qui communique avec son armature interne. Si les armatures externes des bouteilles sont unies l'une à l'autre, on a ce que l'on appelle une cascade. Lorsque les pôles de la machine sont isolés, ou lorsqu'ils sont mis en rapport avec les armatures internes des bouteilles de Leyde associées en cascade, et que les armatures externes sont mises en communication avec le sol, les deux conducteurs de la machine sont à des potentiels égaux et de signes contraires. Lorsque la machine est pourvue de ses bouteilles de Leyde, associées en cascade, les étincelles entre les pôles sont plus rares, mais beaucoup plus brillantes et plus larges; la machine produit toujours la même quantité d'électricité dans le même temps, mais celle-ci s'accumule dans les armatures internes des bouteilles et la décharge ne se fait que lorsque celles-ci sont chargées jusqu'à présenter entre elles la différence de potentiel correspondant à la distance explosive des pôles.

Les machines de Holtz sont très sensibles à l'influence de l'humidité et doivent toujours être enfermées dans des caisses à parois de verre, de façon à permettre de voir la machine à l'intérieur; des orifices percés dans les

parois de la caisse permettent le passage de l'axe et des tiges polaires; à l'endroit de leur sortie, celles-ci sont soigneusement isolées par des anneaux d'ébonite.

Les machines modernes employées en médecine sont multiples; au lieu d'avoir une seule paire de plateaux, un fixe et un mobile, elles ont deux, quatre, six ou huit paires de plateaux. Tous les plateaux mobiles sont montés sur le même axe. Dans les grandes machines américaines, les plateaux fixes sont formés par de grandes glaces de verre maintenues en place par des rainures faites dans les parois de la caisse. Chaque plateau fixe se trouve remplacé par deux glaces, une au-dessus de l'axe, l'autre au-dessous, de telle sorte qu'entre ces deux glaces se trouve un intervalle qui remplace les fenêtres et permet le passage de l'axe; on évite ainsi d'avoir à tailler les orifices des plateaux fixes, ce qui était la partie la plus difficile de la construction de ces machines. Les armatures de papier, au lieu d'être fixées sur le côté opposé au plateau mobile, sont fixées sur la face la plus voisine de ce plateau, ce qui, paraît-il, empêche le renversement des pôles. La tension et la longueur des étincelles que l'on peut obtenir augmentent avec le diamètre des plateaux. Les machines employées pour les applications médicales ont des plateaux dont le diamètre varie entre 0m,45 et 0m,80.

La machine peut être tournée à la main ou par un moteur; on donne habituellement aux plateaux une vitesse de huit à douze tours par seconde.

Théorie de la machine de Holtz. — En résumé, la machine de Holtz est formée d'un conducteur armé de pointes dirigées vers un corps électrisé, l'armature, dont elles sont séparées par le plateau tournant. Les boules des conducteurs polaires étant au contact et le plateau en rotation, on touche l'une des armatures de papier avec une plaque d'ébonite électrisée négativement par friction avec une peau de chat; cette charge négative agit par influence à travers le plateau mobile sur le conducteur, détermine dans les pointes une charge positive qui s'écoule sur le plateau de verre, est entraînée dans le mouvement de rotation de celui-ci, arrive devant l'autre peigne dans lequel (les deux peignes communiquant par le contact des boules) l'influence de l'armature électrisée négativement détermine la production d'une charge négative, celle-ci s'écoule sur le plateau, neutralise sa charge positive et le charge négativement; cette charge négative, transportée devant le peigne positif, agit par influence et augmente l'écoulement de la charge positive. A chaque tour que fait le plateau la charge qu'il apporte devant chacun des peignes étant plus considérable, son influence sur les conducteurs polaires et sur l'écoulement de l'électricité par les pointes va en augmentant. D'un autre côté, les peignes influencent les armatures de papier et y augmentent la charge de sens contraire à la leur, en provoquant l'écoulement des charges inverses par les pointes dont elles sont munies. Ces armatures réagissent à leur tour sur les peignes, mais elles agissent surtout par la permanence de leurs charges, conséquence de leur mauvaise conductibilité,

pour maintenir la stabilité dans le fonctionnement de la machine. Les boules étant écartées chaque conducteur polaire prend une charge de signe contraire à celle qui s'écoule par ces pointes, puis, lorsque le potentiel atteint une certaine limite, une étincelle éclate entre les deux boules, rétablissant le circuit entre les deux conducteurs. Le potentiel, et par conséquent la charge nécessaire pour le produire, augmente avec la distance explosive des boules; les étincelles sont d'autant plus fréquentes que cette distance est moindre, d'autant plus rares que cette distance est plus grande. Si la distance des boules est trop grande, il se peut que les conducteurs se déchargent sur les plateaux, ce qui produit le renversement des pôles que le conducteur diagonal a pour but d'éviter.

La machine de Holtz donne un bon débit et un haut potentiel ; elle convient bien pour les applications médicales. Ses inconvénients sont la nécessité de l'amorçage qui oblige à ouvrir la caisse de la machine ; sa sensibilité à l'humidité, son désamorçage et le renversement des pôles lorsque l'on élève trop la résistance entre les boules. Les grandes machines américaines sont pourvues, pour l'amorçage, d'une petite machine auto-excitatrice, soit à friction, soit à influence (machine de Wimshurst); cette machine auxiliaire est placée dans la caisse de la machine de Holtz et peut être tournée à la main, du dehors, de façon à permettre l'amorçage sans ouvrir la caisse de la machine. Nous indiquerons pour toutes les machines comment les préserver de l'humidité, et l'on a vu plus haut le dispositif employé pour empêcher le renversement des pôles.

§ 3. — **Machine de Wimshurst.**

En 1883, M. Wimshurst, de Londres, fit connaître une nouvelle machine à influence dont l'emploi pour les applications médicales s'étendit rapidement.

Cette machine (fig. 79) est formée d'une paire de plateaux circulaires disposés sur un axe horizontal de manière à pouvoir tourner en sens inverse l'un de l'autre, ces plateaux ne doivent pas se toucher mais être aussi rapprochés que la construction le permet. A chaque plateau est fixée une gaine creuse traversée par l'axe et portant une petite poulie à gorge ; ces poulies et les plateaux qui y sont attachés par l'intermédiaire de la gaine sont mis en rotation au moyen de cordes ou courroies, par des poulies d'un plus grand diamètre montées au-dessous des plateaux, sur un axe que l'on fait tourner à la main ou par un moteur. La rotation des plateaux en sens inverse est obtenue en croisant une des courroies. Les plateaux sont faits de verre verni à la gomme laque, ou d'ébonite. L'ébonite, moins fragile que le verre, permet de tourner les plateaux avec une plus grande vitesse, mais les plateaux d'ébonite sont susceptibles de se déformer et cette substance subit des modifications lentes par suite desquelles elle perd ses propriétés iso-

lantes. Sur la surface extérieure de chaque plateau, à distances angulaires égales, sont fixés des secteurs en feuilles d'étain ou de clinquant ; ces secteurs sont parfois désignés sous le nom de porteurs, d'après la fonction qu'ils assument de transporter les charges électriques ; ils ne sont pas indispensables au fonctionnement de la machine, mais ils favorisent l'auto-excitation.

Aux deux extrémités du diamètre horizontal sont placés les conducteurs isolés portant chacun un peigne en fer à cheval embrassant les deux plateaux de façon à ce que les pointes des peignes se trouvent très rapprochées de la surface de chaque plateau. Ces conducteurs isolés, destinés à recueillir les charges produites, et qui peuvent être appelés collecteurs, portent les élec-

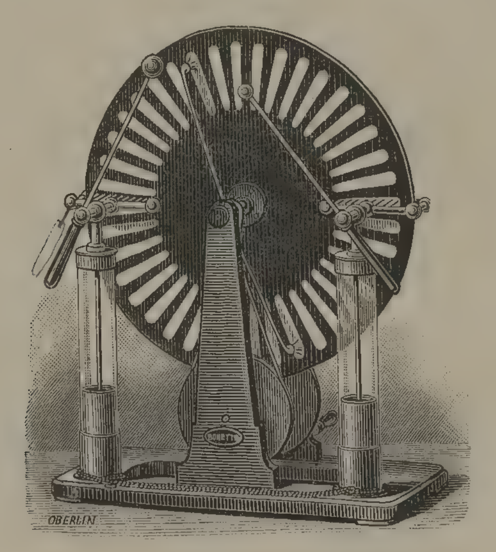


Fig. 79. — Machine de Wimshurst.

trodes entre lesquelles s'effectue la décharge que l'on recueille pour l'utiliser ; chaque électrode est terminée par une boule métallique, et pourvue d'un manche isolant permettant d'éloigner ou d'approcher à volonté les boules polaires et de régler ainsi la longueur des étincelles.

Vis-à-vis de la surface externe des plateaux se trouve un conducteur diamétral terminé à chacune de ses extrémités par un balai frottant légèrement sur la surface du plateau et sur les porteurs ; ces conducteurs sont disposés de façon à ce que l'on puisse leur donner une inclinaison variable par rapport à l'horizontale ; l'inclinaison la plus avantageuse ne semble pas nettement déterminée. Les conducteurs diamétraux sont inclinés en sens inverse l'un de l'autre de façon à occuper des positions symétriques par rapport à l'horizontale ou à la verticale. Le sens de rotation des plateaux doit toujours être tel que le mouvement s'effectue d'un balai vers le peigne le plus éloigné. Des bouteilles de Leyde peuvent être ajoutées aux conducteurs polaires pour en augmenter la capacité.

Le diamètre des plateaux des machines médicales varie de $0^m,45$ à $0^m,80$. On emploie des machines multiples formées de plusieurs paires de plateaux travaillant simultanément. La machine doit être montée sur un bâtis solide permettant de donner sans trépidation une grande vitesse aux plateaux. Les plateaux doivent être bien centrés, les roulements silencieux, doux et faciles. Le roulement sur billes est préférable au roulement sur coussinets.

Théorie de la machine de Wimshurst. — Les théories qui font intervenir les collecteurs à peignes pour l'amorçage de la machine sont erronées, car une machine sans ses collecteurs, réduite à ses deux plateaux et à sa paire de balais, s'amorce fort bien. Les théories qui font intervenir des différences de potentiel préalables sont également inacceptables. On se rend bien compte du fonctionnement d'une machine de Wimshurst en faisant tourner dans l'obscurité une machine sans collecteur et en examinant les faces externes des plateaux quand la machine est amorcée. Considérant les plateaux comme divisés en quatre secteurs par les conducteurs porte-balais, les secteurs situés sur l'axe vertical, c'est-à-dire entre un balai du côté que l'on regarde et, en suivant le sens du mouvement, le balai du côté opposé, ne montrent aucune trace d'électrisation, les charges électriques y sont dissimulées, condensées. Au contraire, les secteurs situés sur l'axe horizontal, c'est-à-dire compris entre un balai du côté opposé à celui que l'on regarde et, en suivant le mouvement du plateau, le balai du même côté, sont brillamment illuminés ; le secteur d'un côté par de longues aigrettes indiquant une décharge positive ; le secteur diamétralement opposé par des points lumineux indice d'une décharge négative. Si l'on ajoute à la machine les collecteurs avec leurs peignes, la même illumination s'observe dans les parties des secteurs qui se dirigent vers les peignes, et l'obscurité s'est faite dans les parties qui s'en éloignent. Du côté des secteurs positifs, on voit les aigrettes s'incliner pour arriver aux collecteurs en devançant le mouvement du plateau. Cette observation conduit à concevoir le fonctionnement de la machine de Wimshurst ainsi qu'il suit : lorsqu'un secteur métallique vient passer au contact d'un balai, il s'établit entre eux, soit par suite de la force électromotrice de contact, soit par le léger frottement du balai, une différence de potentiel, d'où il résulte que le secteur s'éloigne avec un potentiel différent de celui du balai ; lorsqu'il passe en face du balai du côté opposé, il y détermine par influence une charge contraire à la sienne, laquelle se communique au secteur métallique alors en contact avec ce balai ; ce secteur, emporté par son plateau en sens inverse du premier, s'en va déterminer par son influence l'augmentation de la charge du premier balai qui charge aussi plus fortement les secteurs passant devant lui. C'est ainsi que la machine s'amorce sous l'influence d'une faible force électromotrice de friction ou de contact et que le phénomène d'influence vient ensuite multiplier les charges. Les secteurs métalliques situés sur le diamètre vertical formant de part et d'autre les arma-

tures d'un condensateur dont le diélectrique est formé par les deux plateaux et l'intervalle qui les sépare, c'est pourquoi les charges condensées ne se manifestent par aucune luminosité, mais dès que les secteurs métalliques d'un côté ont passé devant le balai du côté opposé, ils se trouvent en face de secteurs déchargés par le collecteur, leur capacité diminue, comme celle d'un conducteur influencé lorsqu'on décharge le conducteur chargé qui l'influence; la charge condensée des secteurs devient libre et les secteurs se déchargent dans l'air sous forme d'aigrettes, puis achèvent de se décharger sur les peignes des collecteurs en chargeant ceux-ci. Il résulte de ce qui vient d'être exposé qu'il y a intérêt à décaler chacune des branches d'un peigne en sens inverse du mouvement du plateau correspondant pour la porter au-devant des charges qu'elle doit recueillir.

La manière dont s'amorce spontanément la machine de Wimshurst se trouve indiquée par le procédé d'amorçage des machines sans secteurs, lequel consiste à pratiquer une légère friction sur la surface de l'un des plateaux avant son passage devant le peigne du côté opposé.

La machine de Wimshurst présente sur la machine de Holtz l'avantage d'être auto-excitatrice ; elle a plus de stabilité dans sa marche et, lorsqu'on écarte les pôles, il n'y a ni renversement ni désamorçage ; les pôles ne se renversent que lorsque les électrodes mises en contact constituent un court-circuit. Enfin la machine est moins sensible à l'influence de l'humidité.

Tension. — On désigne par le mot *tension* la différence de potentiel entre les deux boules polaires ou électrodes de la machine ; cette différence de potentiel peut être mesurée avec précision à l'aide d'électromètres appropriés, mais il suffit et l'on se contente de l'apprécier par la distance explosive ou longueur de l'étincelle éclatant entre les pôles ; habituellement, on l'exprime en centimètres, mais la distance explosive ne varie pas proportionnellement à la différence de potentiel ; on a dressé des tables donnant en volts les différences de potentiel correspondant à diverses distances explosives. La table suivante est empruntée au *Traité d'électricité* de M. Joubert :

Décharges s'effectuant entre deux boules de un centimètre de diamètre :

Distances des deux boules en centim.	Différences de potentiel en volts
0,1	4.830
0,5	16.890
1	25.440
1,5	29.340
2	31.350
3	37.200
5	45.900
10	56.100
15	61.800

Le rapport entre la distance explosive et la différence de potentiel correspondante dépend du diamètre des boules polaires. La différence de potentiel correspondant à une distance explosive donnée augmente avec le diamètre des boules.

Lorsqu'une machine électrostatique tourne à circuit ouvert, la différence de potentiel dépend de la force électromotrice, et nous avons vu que pour les machines à influence la force électromotrice allait en s'accroissant indéfiniment ; s'il n'existait aucune perte des charges accumulées sur les conducteurs, la différence de potentiel entre les pôles s'élèverait jusqu'à ce que les deux conducteurs polaires opposés se déchargeassent l'un sur l'autre, ou sur le sol par l'intermédiaire de l'axe imparfaitement isolé, c'est ce qui se produit dans les machines en parfait état ; il en résulte que le maximum de différence de potentiel qu'une machine peut donner correspond à une distance explosive égale à deux fois la distance des collecteurs à l'axe, c'est-à-dire à peu près au rayon des plateaux. Mais le plus souvent les conducteurs subissent continuellement une perte de charge d'autant plus élevée que leur potentiel s'écarte davantage du potentiel du sol ou potentiel o, la quantité d'électricité perdue dans l'unité de temps augmente donc à mesure que la différence de potentiel entre les deux pôles s'élève, et cette quantité devient souvent égale à celle produite par la machine avant que le maximum de différence de potentiel soit atteint. A partir de ce moment, la différence de potentiel ne peut plus s'élever et reste stationnaire ; ceci se produit à un potentiel d'autant plus éloigné du maximum que la machine est installée dans de moins bonnes conditions, d'autant plus rapproché que son installation est plus parfaite.

Si les deux pôles de la machine sont isolés, ils sont à des potentiels égaux et de signes contraires ; si l'un d'eux est mis en communication avec le sol de façon à être au potentiel zéro, le potentiel de l'autre pôle varie de telle façon que la différence de potentiel entre les deux pôles reste toujours la même.

Débit. — On donne le nom de *débit* à la quantité d'électricité qui passe pendant une seconde par une section de l'étincelle de décharge d'une machine statique. Le débit en électricité statique est l'analogue de l'intensité d'un courant dynamique. Le débit d'une machine varie avec un grand nombre de circonstances ; il augmente proportionnellement à la vitesse de rotation des plateaux, puisque, si cette vitesse devient double, triple ou quadruple, les plateaux transportent dans le même temps devant les peignes des collecteurs deux, trois ou quatre fois plus d'électricité. Le débit de la machine de Wimshurst est d'autant plus grand que les plateaux sont plus rapprochés l'un de l'autre, puisque la capacité de leurs surfaces varie en raison inverse de leur écartement. Le débit net, utilisable, est formé par la production de la machine diminuée des pertes, ce débit diminue à mesure que la différence de potentiel entre les pôles augmente. Enfin, dans les ma-

chines à plusieurs paires de plateaux, le débit augmente comme le nombre des paires de plateaux. On aura une idée de la grandeur du débit des machines électrostatiques en sachant que ce débit peut n'être que de 0,0001 de coulomb et qu'il ne s'élève guère au-dessus de 0,001 de coulomb; en d'autres termes, ces machines donnent des courants dont l'intensité est comprise entre un dimilli et un milliampère.

Pour mesurer le débit, on emploie la *bouteille de Lane*. C'est une bouteille de Leyde dont l'armature interne communique, par un conducteur, avec une tige métallique terminée par une autre boule que l'on peut à volonté approcher ou éloigner de la boule de l'armature interne. Pour contrôler le débit d'une machine, il faut mettre un pôle en communication avec l'armature interne, l'autre avec l'armature de la bouteille de Lane isolée; compter, pour un même écartement des boules, le nombre des étincelles par minute, le débit étant proportionnel à ce nombre, on pourra ainsi suivre ses variations. Pour mesurer le débit en unités électriques, il faut connaître la capacité de la bouteille et les différences de potentiel correspondant aux diverses longueurs d'étincelles pour le diamètre des boules. L'expérience étant disposée comme précédemment, on compte les étincelles pendant un certain nombre de secondes, on divise le chiffre trouvé par le nombre des secondes; soit N le nombre d'étincelles par seconde ainsi déterminé, soit C la capacité de la bouteille, V la différence de potentiel correspondant à la longueur de l'étincelle; le débit D sera :

$$D = NVC.$$

Si C est exprimé en microfarads, V en volts, N en secondes, D se trouvera exprimé en microcoulombs.

Énergie. — On donne le nom d'*énergie électrique* au produit de la tension par le débit et par le temps :

$$E = VDt.$$

Puissance. — La *puissance* d'une machine est la quantité d'énergie électrique produite dans l'unité de temps; elle est égale au produit de la tension par le débit :

$$P = VD.$$

C'est la grandeur la plus importante à considérer pour la production des rayons Röntgen.

Modèles divers de la machine de Wimshurst

I. Machines a cylindres. M. Wimshurst avait cosénstruit des machines dans lesquelles les deux plateaux étaient remplacés par deux cylindres concentriques. M. Bonetti, de Paris, construit actuellement des machines sys-

tèmeWimshurst avec deux cylindres concentriques d'ébonite (fig. 80); la substitution des cylindres aux plateaux permet d'employer des surfaces tournantes

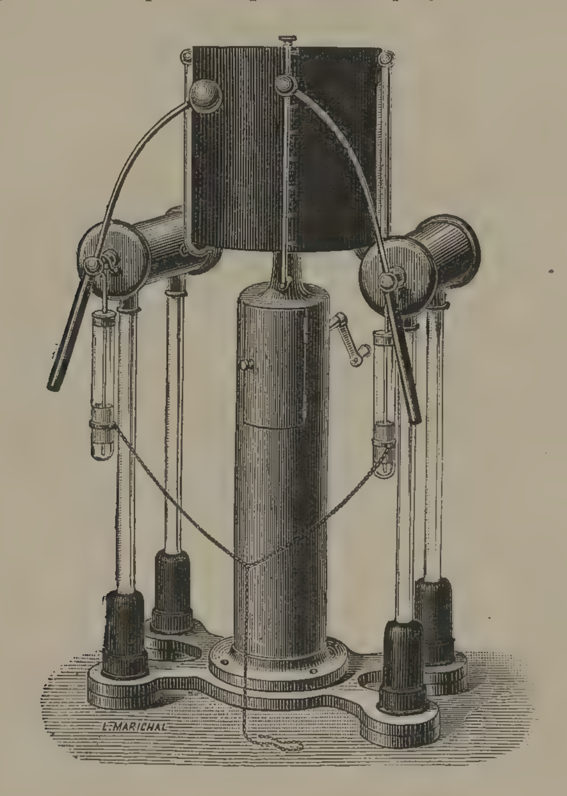


Fig. 80. — Machines à cylindres.

plus étendues, ayant, par suite, une plus grande capacité, aussi ces machines ont-elles un débit très élevé.

II. Machines sans secteurs. En 1894, le même constructeur, M. Bonetti, a présenté des machines de Wimshurst sans secteurs métalliques et dont les conducteurs diamétraux portaient des balais multiples (fig. 81). Ces machines ont un débit notablement plus élevé que les machines de dimensions identiques avec secteurs et balais simples. Le débit se trouve augmenté par la suppression des pertes auxquelles donnent lieu par leurs bords les secteurs métalliques en se déchargeant dans l'air ou les uns sur les autres ; les balais multiples permettent aussi aux plateaux de se charger plus facilement et sur une plus grande surface. Ces machines ont l'inconvénient de se désamorcer très facilement lorsque leur circuit est fermé sur une très faible résistance. Les machines sans secteurs ne sont pas auto-excitatrices ; on les amorce en touchant avec le doigt bien sec ou enduit d'or mussif la partie supérieure de la surface d'un des plateaux, alors que la machine est en mouvement, ce qui permet de donner aux électrodes la polarité que l'on désire ;

on doit toucher du doigt le plateau qui se rend vers l'électrode que l'on veut

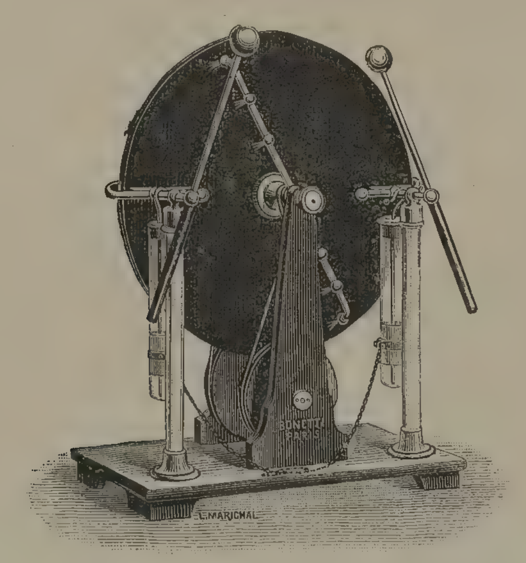


Fig. 81. — Machine sans secteurs et à balais multiples

avoir positive. Un autre moyen, très efficace, d'amorcer les machines de

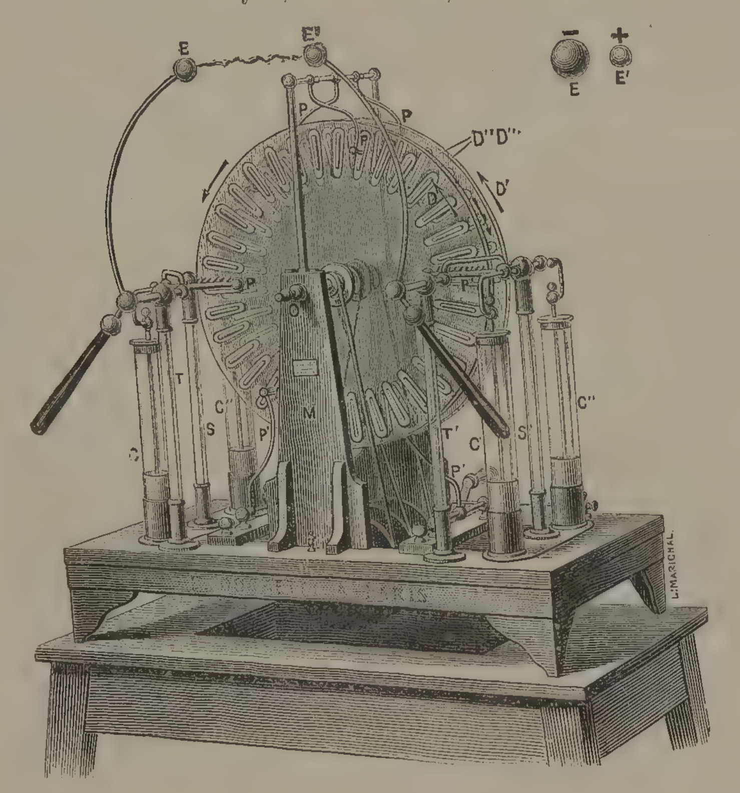


Fig. 82. — Machine mixte Ducretet.

Wimshurst, sans ou avec secteurs, si celles-ci sous l'influence de l'humidité ne s'amorçaient point, consiste, alors que la machine est en marche, à approcher un objet d'ébonite frotté avec une peau de chat ou une pièce de drap, en face d'un des balais du côté opposé des plateaux, de façon à ce que la charge de l'ébonite agisse sur le balai par influence à travers les deux plateaux. Cette méthode permet la détermination des pôles à volonté pour les machines avec secteurs aussi bien que pour les machines sans secteurs, il faut seulement avoir soin d'approcher la plaque d'ébonite avant la mise en marche de la machine, qui, préalablement, devra être complètement déchargée par le contact des boules polaires ; le balai, opposé à l'ébonite électrisée, charge positivement les secteurs qui se dirigent vers le collecteur le plus éloigné, déterminent une décharge négative par les pointes du peigne et chargent positivement le conducteur polaire.

III. Machines mixtes. M. Ducretet construit des machines de Wimshurst avec plusieurs paires de plateaux dont une seule paire porte des secteurs ; on réunit ainsi les avantages des deux systèmes, auto-excitation et grand débit. Les machines Ducretet ont leurs peignes décalés en sens inverse de la rotation des plateaux, ce qui améliore le débit (fig. 82).

MM. Gaiffe et Cie ont construit des machines disposées pour donner aux

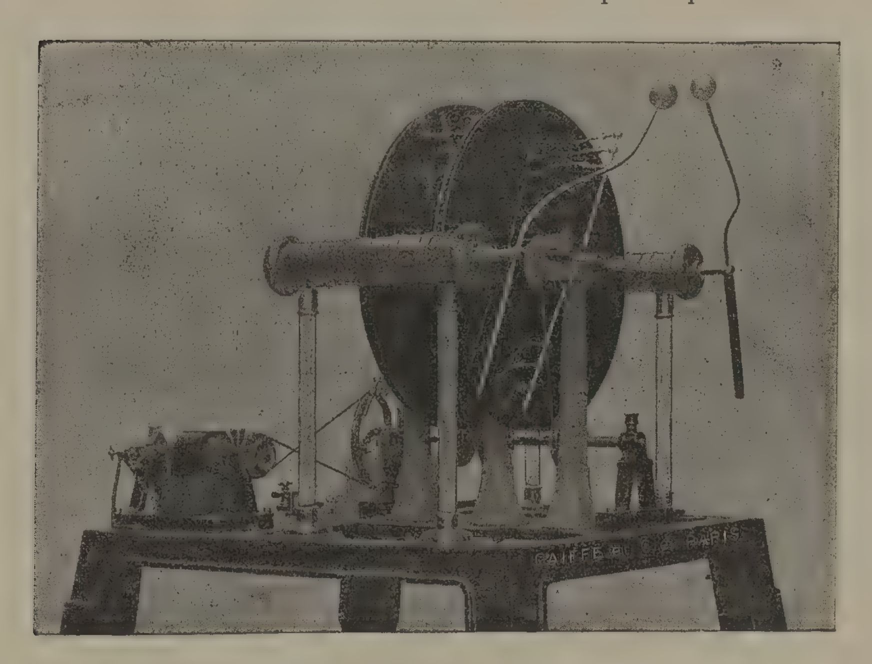


Fig. 83. — Machine Gaiffe.

plateaux une très grande vitesse de rotation, d'où résulte un grand débit. Ces machines ont, de plus, l'avantage d'être très aisément démontables, ce qui permet de nettoyer facilement les plateaux (fig. 83).

Machines portatives. M. Drault, de Paris, construit une machine portative spécialement disposée pour la production des rayons Röntgen ; cette machine a été fort bien décrite par M. le Dr Béclère dans les *Archives d'électricité médicale* (15 juillet 1900) : « C'est une machine du type Wimshurst, à quatre plateaux nus d'ébonite, de 45 centimètres de diamètre. Les courroies de transmission sont remplacées par des engrenages métalliques qui impriment exactement le même mouvement aux deux paires de plateaux et font tour-

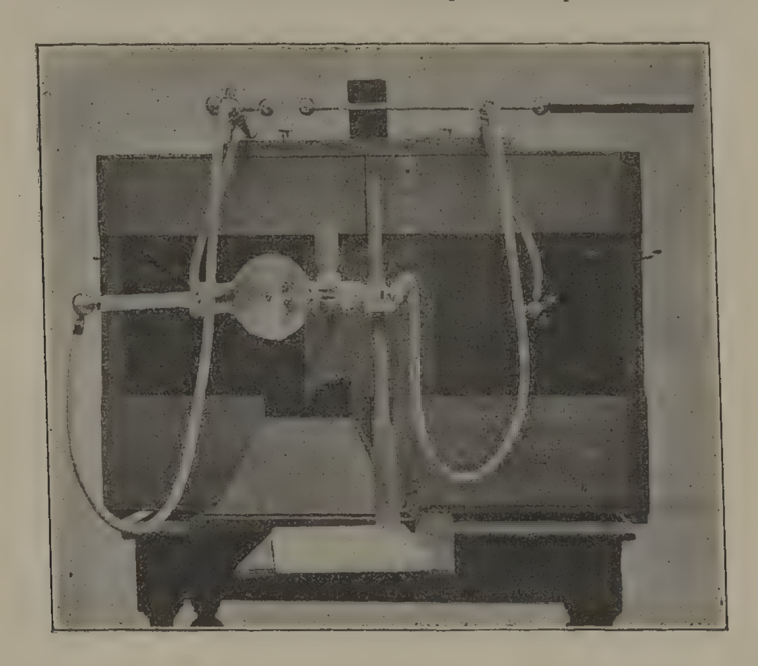


Fig. 84. — Machine statique transportable dans sa caisse, Drault constructeur.

ner en sens inverse l'un de l'autre, avec une vitesse mathématiquement égale, les deux plateaux de chaque paire. Ces engrenages sont disposés de telle sorte que les plateaux tournent neuf fois sur eux-mêmes pour une seule rotation de la manivelle. Comme il est facile de faire tourner celle-ci quatre-vingt-dix fois par minute environ, c'est un total de plus de huit cents révolutions par minute que la main fait exécuter aux plateaux. Dans ces conditions, on comprend que la machine ait un assez grand débit, il contraste avec ses petites dimensions. » La machine avec la caisse et tout son contenu pèse 32 kilogrammes seulement.

La machine se place dans une cage qui sert de caisse pour la transporter, dans laquelle on peut la faire fonctionner si l'on craint l'humidité, et qui sert de table-support pour utiliser la machine à l'air libre. Cette caisse, dont les dimensions sont 0m,82, 0m,37 et 0m,53, contient, disposés pour en permettre sans risque le transport, tous les accessoires nécessaires au bon fonctionnement de la machine et à la radioscopie.

Nous avons décrit les machines les plus pratiques et les plus employées,

mais on peut utiliser pour la production des rayons Röntgen une machine électrostatique d'un des systèmes quelconques décrits dans les traités de phy-

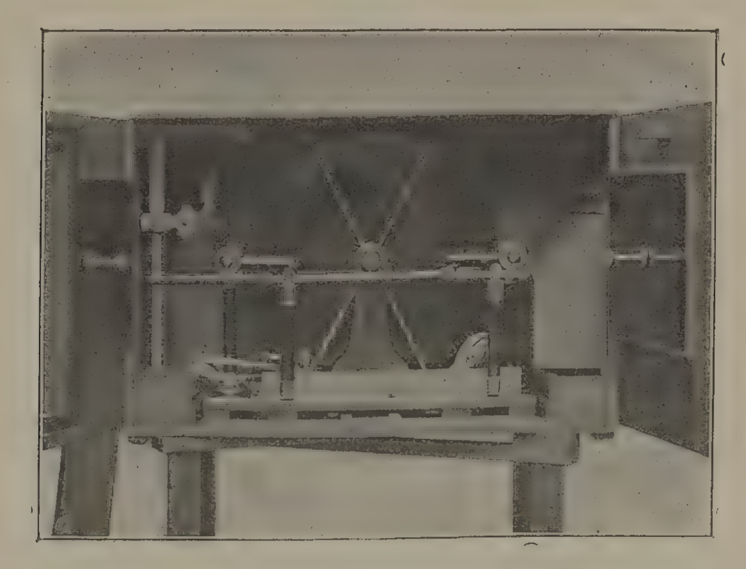


Fig. 85. — Machine statique fonctionnant dans la caisse servant de caisse isolante.

sique, machines Carré, Varley, Glaser, Voss Tœpler, etc., pourvu que la machine donne sous une tension convenable un débit suffisant.

§ 4. — Détermination des pôles.

Une petite lame d'ébonite frottée par une peau de chat, suspendue à l'aide d'un fil de soie, lorsqu'on l'approche des pôles, est repoussée par le pôle négatif, attirée par le positif.

Une pointe en rapport par un conducteur avec le pôle positif donne lieu à une décharge en aigrette ramifiée, le pôle négatif produit à l'extrémité de la pointe un point lumineux.

Les pointes du peigne en rapport avec le pôle positif, laissant s'écouler de l'électricité négative, sont terminées par des points lumineux ; les pointes du peigne en rapport avec le pôle négatif, laissant s'écouler de l'électricité positive, sont terminées par des aigrettes.

Une pointe métallique, tenue à la main, et approchée de la boule polaire positive, présentera un point lumineux, et donnera lieu à une étincelle courte et brillante alors qu'on l'aura approchée très près, tandis que la même pointe, approchée du pôle négatif, donnera lieu à une bien plus grande distance à la production d'une décharge en aigrette.

La machine étant en marche et les pôles écartés, si l'on approche peu à peu l'une de l'autre les boules polaires, l'étincelle de décharge partira de la boule positive, elle sera formée d'une bande lumineuse qui, à quelques centimètres, se ramifie pour se terminer par des branches nombreuses sur la boule

négative. Rapprochant encore les pôles, l'étincelle devient linéaire et est formée d'une moitié blanche et brillante du côté du pôle positif, d'une moitié violette et peu lumineuse du côté du pôle négatif sur lequel elle se termine par un point brillant.

§ 5. — Moteurs.

Les petites machines électrostatiques ayant une ou deux paires de plateaux peuvent être tournées à la main, ce qui exige l'assistance d'un aide, mais évite la complication d'un moteur. C'est le mode qui doit être employé pour les machines portatives. On pourrait aussi tourner les petites machines à l'aide des pédales d'une bicyclette disposées à cet effet. Les machines ayant plus de deux paires de plateaux que l'on doit faire tourner avec une grande vitesse exigent l'emploi d'un moteur. Sans doute on peut aussi tourner ces machines à la main, mais seulement à une vitesse réduite, ce qui diminue le débit et enlève à la machine sa supériorité sur les machines plus simples. Tous les moteurs peuvent être employés, la force nécessaire varie de 5 à 40 kilogrammètres. Les moteurs à eau et à gaz ne sont point à recommander, et toutes les fois que l'on se trouve sur une canalisation électrique, c'est au moteur électrique qu'il faut donner la préférence. Pour le courant continu à 110 volts, il existe des moteurs dont l'inducteur est en série, moteurs séries, et d'autres dont l'inducteur est en dérivation ; ces derniers ont l'avantage d'avoir une vitesse constante, régulière, quelle que soit leur charge, mais ils démarrent difficilement en charge et sont d'un prix plus élevé que les moteurs séries ; ceux-ci sont les plus employés, on les met en série avec un rhéostat divisé en un certain nombre de résistances ayant chacune un plot sur ces plots se déplace à la main une manette, ce qui introduit ou sort successivement du circuit chacune des résistances, c'est ainsi que l'on règle à la main et d'une façon très suffisante la vitesse du moteur. Plus est grand le nombre des résistances dans lequel on a divisé le rhéostat, plus est facile et gradué le réglage de la vitesse.

Il existe aussi des moteurs pouvant être installés sur les canalisations des courants alternatifs.

On peut animer les moteurs avec des piles au bichromate à grandes surfaces, ou avec une batterie d'accumulateurs que l'on peut faire charger ou charger soi-même avec des piles, mais ce dispositif est peu pratique en raison des manipulations qu'il exige pour l'entretien du matériel. Pour un moteur de 5 kilogrammètres, il faut disposer d'une tension de 16 volts et d'un courant de 8 à 10 ampères.

Les moteurs électriques tournent avec une vitesse de 1.000 à 1.200 tours à la minute, alors que l'arbre de la machine statique qui transmet par courroies ou engrenages le mouvement aux plateaux ne doit pas tourner à plus de 200 tours à la minute ; il faut employer un dispositif pour réduire la vitesse ; on emploie à cet effet des transmissions de mouvement avec réduc-

tion de vitesse, soit par engrenages, soit par poulies et courroies, soit par chaînes analogues aux chaînes de bicyclettes. Les engrenages sont bruyants et pour cette raison on préfère les transmissions à poulies. Le dispositif pour réduction de vitesse est habituellement fourni par le constructeur en même temps que la machine et le moteur.

§ 6. — **Installation et entretien.**

Les machines électrostatiques sont des appareils extrêmement sensibles, leur bon fonctionnement dépend essentiellement de leur installation et de leur entretien. La plus légère défectuosité suffit pour rendre inutile un excellent appareil.

La machine doit être installée dans une pièce suffisamment éclairée pour permettre d'en surveiller facilement tous les organes. Cette pièce doit être sèche pour que la machine n'ait rien à craindre de l'humidité ; l'exposition au nord, les rez-de-chaussée doivent autant que possible être évités. Il faut avec un soin égal éviter d'exposer les plateaux d'ébonite au soleil qui les altérerait rapidement. On doit pouvoir tourner autour de la machine et du moteur. Il faut écarter de la machine tout corps pointu ou anguleux, angles de meuble, etc. ; il faut aussi éloigner les draperies, tentures, touffes, etc. ; tous ces corps agissent comme des pointes sur les pôles qu'ils déchargent, ils suffisent pour empêcher la tension de s'élever et rendre la machine inutilisable. L'humidité est l'influence la plus redoutable au bon fonctionnement des machines électrostatiques, on les en préserve en les enfermant dans une cage de verre dont on dessèche l'atmosphère par des substances absorbantes ou par le chauffage. On emploie habituellement le chlorure de calcium que l'on place dans des vases dans l'intérieur de la cage ; souvent le chlorure de calcium du commerce est en partie réduit en poudre; si l'on l'introduit sous cette forme dans la cage alors que la machine est en mouvement, il s'élève en poussière dans l'atmosphère, recouvre toutes les parties de la machine y compris les plateaux, y attire l'humidité et forme partout une couche conductrice qui rend la machine absolument inutilisable ; pour fonctionner de nouveau elle doit être complètement démontée, et subir un lavage et un nettoyage complet. Il faut chaque jour retirer le liquide provenant de la dissolution du chlorure de calcium ; un dispositif commode à cet effet consiste à mettre le chlorure de calcium dans un entonnoir au-dessus d'un cristallisoir dans lequel s'écoule le liquide. Le Dr Monell recommande de placer le chlorure de calcium dans un vase allant au feu, ce qui permet de le mettre dans le four de cuisine et de le dessécher tous les jours, le même chlorure peut ainsi servir pendant un temps très long. On peut à la place du chlorure de calcium employer l'acide sulfurique concentré dont la manipulation cependant est dangereuse et incommode. A la campagne, on pourrait aussi employer de la chaux vive. Le chauffage se pratique habituellement avec des lampes électriques installées dans la caisse ou sous les

cylindres. Le chauffage doit être employé avec beaucoup de précaution à l'égard des cylindres et des plateaux d'ébonite, qu'il peut altérer ou déformer. A la campagne, on peut fort bien chauffer l'air de la caisse avec des briques chauffées au feu et placées dans la caisse aussi loin que possible des plateaux. Le chauffage abaisse l'état hygrométrique en élevant la température et a l'inconvénient d'attirer la vapeur d'eau du dehors ; lorsque la température s'abaisse, cette vapeur d'eau se condense sur toute la machine, l'altère et met obstacle à une nouvelle mise en route. On peut préserver les machines de l'humidité en mettant dans l'intérieur de la caisse un corps refroidissant, mélange réfrigérant, air liquide, etc., qui abaisse l'état hygrométrique en condensant la vapeur d'eau sur les surfaces refroidies où on la recueille dans des vases appropriés ; ce moyen a l'avantage de maintenir la sécheresse sur la machine pendant et après son emploi. Lorsque l'on dispose d'une pièce suffisamment sèche pour faire marcher la machine à l'air libre, il est avantageux de se passer de caisse ; on évite ainsi, ou tout au moins on atténue beaucoup, les altérations que l'ozone et l'air électrisé produisent sur les plateaux et les parties métalliques de la machine.

Après l'humidité, la poussière altère le plus le fonctionnement des machines électrostatiques ; il faudra donc fréquemment essuyer, soit avec une peau de chamois, soit avec une pièce de drap sec, non seulement les plateaux et toutes les parties de la machine, mais aussi les parois de la cage. Il est nécesaire de démonter de temps en temps les plateaux pour opérer un nettoyage plus complet ; après les avoir frottés avec un linge sec, il est avantageux de les frotter avec un linge imbibé de quelques gouttes de pétrole (Huet) ; celui-ci donne aux plateaux un poli et un brillant rappelant l'état de neuf ; il faut ensuite enlever le pétrole à la surface des plateaux, on peut les frotter avec un linge légèrement imprégné d'alcool, mais il est préférable de se borner à les essuyer avec un linge chaud. Ainsi nettoyés, les plateaux sont prêts à fournir de nouveau un excellent fonctionnement à moins que l'ébonite ne soit altéré ; dans ce cas, les plateaux doivent être remplacés. Il faut éviter de nettoyer les plateaux de verre avec de l'alcool qui dissoudrait le vernis, on les lave avec une solution très étendue de carbonate de potasse et on les essuie avec une flanelle bien sèche. Si la machine n'a pas de cage, elle doit être, lorsqu'on ne s'en sert pas, soigneusement couverte d'une étoffe imperméable à la poussière.

Toutes les parties frottantes, les axes, les coussinets, etc., doivent être parfaitement huilés, d'autant plus souvent que leur vitesse est plus grande ; on doit éviter avec soin de faire couler l'huile sur les plateaux. Les courroies doivent toujours être bien tendues pour éviter les pertes de vitesse par glissement.

Docteur Stéphane Leduc,
Professeur à l'École de Médecine de Nantes.

CHAPITRE VI

PHÉNOMÈNES HERTZIENS PRODUITS PAR L'ÉLECTRICITÉ STATIQUE

La machine statique est susceptible de produire des phénomènes identiques à ceux que Hertz a étudiés avec la bobine de Ruhmkorff ; la disposition qu'il faut donner pour cela aux organes de la machine étant utilisée pour exciter un tube de Crookes et faire de la radiographie, il est utile de connaître le mécanisme de la production de ces phénomènes très intéressants.

§ 1. — **Considérations générales.**

Considérons l'ensemble formé par deux conducteurs métalliques C et C′ terminés par deux sphères B, B′ entre lesquelles est placée une couche d'air

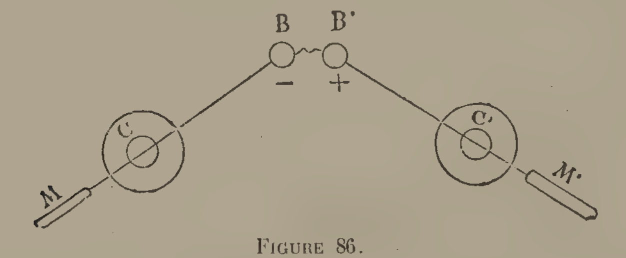


Figure 86.

d'épaisseur égale à la distance des boules ; nous avons ainsi un condensateur dont les constantes physiques, au nombre de trois, sont : 1° la capacité ; 2° le coefficient de self-induction propre ; 3° la résistance électrique. Désignons ces trois valeurs par C, L et R ; il est à noter que R représente la résistance du conducteur formé par l'ensemble des deux conducteurs terminés en boule.

Si l'on établit entre les deux conducteurs une différence de potentiel graduellement croissante, il arrivera un moment où le condensateur se déchargera sur lui-même et où l'on verra jaillir une étincelle entre les deux boules.

La décharge sera oscillante, comme nous l'avons déjà vu, pourvu que l'inégalité suivante soit satisfaite ; il faut que l'on ait

$$R^2 < \frac{4L}{C} \text{ ou } R < \sqrt{\frac{4L}{C}}.$$

Lorsqu'un diapason a été excité, il engendre dans l'air des ondes sonores ; si l'on place dans son voisinage un diapason identique au premier et accordé à l'unisson avec lui, ce second diapason va mettre en évidence les ondes qui se propagent dans le milieu ambiant : il va se comporter comme un *résonateur*. Si, en effet, après avoir excité le premier diapason, *diapason vibrateur*, on vient à éteindre ses vibrations brusquement, on constate que le second diapason, le résonateur, est à son tour animé d'un mouvement vibratoire et qu'il rend le même son que le premier. Si l'on déplace ce diapason résonateur dans l'espace, on pourra constater qu'il reste muet à l'endroit des nœuds et qu'il accuse fortement des ventres, ce qui permettra de déterminer : 1° la longueur d'onde du mouvement vibratoire, puisque l'on sait que cette longueur d'onde est égale au double de la distance comprise entre deux nœuds consécutifs, et 2° la vitesse de transmission des ondes, puisque celle-ci est égale au quotient de la longueur d'une onde par sa durée.

Hertz a démontré expérimentalement que ces phénomènes de résonance existent aussi en électricité ; lorsque le condensateur précédemment étudié est relié aux deux pôles d'une source d'électricité à haut potentiel, machine statique, bobine de Ruhmkorff, les oscillations de la décharge qui s'effectuent entre les deux sphères produisent des ondes électriques dans le milieu ambiant, et les propriétés de ces ondes sont identiques à celles des radiations émises par un corps porté à une haute température, c'est-à-dire qu'elles donnent lieu à des phénomènes de réflection, d'interférence, de réfraction, de diffraction, de polarisation.

Pour prouver l'existence, dans le milieu ambiant, des ondes électriques,

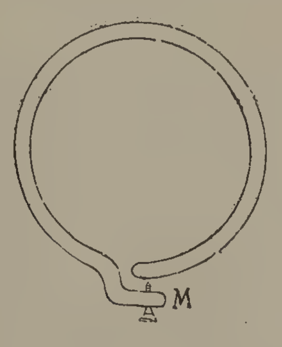


FIGURE 87.

l'illustre physicien de Bonn a eu l'ingénieuse idée d'employer un appareil susceptible de vibrer à l'unisson avec le vibrateur électrique, et appelé pour

cela le résonateur électrique ; cet appareil peut être identique au vibrateur que nous avons considéré (deux conducteurs munis de boules) ou avoir une forme tout à fait différente : cercle de cuivre ouvert en un point M (fig. 87) ; il suffit, pour que la résonance ait lieu, que les trois grandeurs caractéristiques, capacité, résistance, self-induction des conducteurs qui le composent, satisfassent à la même équation de condition que les quantités correspondantes du vibrateur. Cela étant, si on vient à présenter le circuit ouvert, convenablement réglé, en un point de l'espace autour du vibrateur et à 2, 4 et même 20 mètres, on constate dans l'obscurité la production d'un flot d'étincelles à l'interception du circuit, étincelles indiquant l'existence d'un courant dans le système constituant le résonateur.

Le phénomène de résonance électrique se produit même si l'on intercale entre le vibrateur et le résonateur une paroi solide isolante, telle qu'une cloison en maçonnerie ou en bois ; mais l'action cesse si la cloison interposée est conductrice.

A. Turpain a montré qu'on pouvait obtenir un résonateur électrique à l'aide d'un cercle de cuivre présentant, outre l'interruption destinée à la production des étincelles de résonance, une coupure CC′ de quelques centimètres ; le résonateur ainsi construit (fig. 88) fonctionne facilement et suivant des

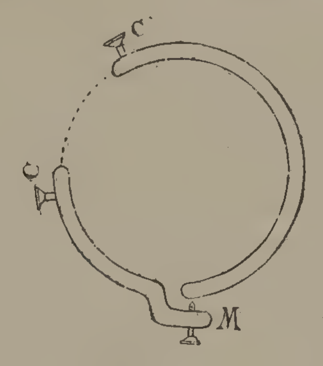


FIGURE 88.

lois aussi simples que le résonateur complet. Cette disposition a l'avantage de permettre d'intercaler dans le circuit du résonateur, soit un téléphone, soit un électro-aimant.

Les ondes électriques mises en évidence par le résonateur de Hertz ont reçu le nom de *vibrations hertziennes*, et l'espace environnant un vibrateur en activité, espace dans lequel un résonateur est susceptible de fonctionner, celui de *champ hertzien*.

Il y a d'autres moyens, découverts par Branly, de déceler l'existence des vibrations hertziennes : il consiste à enfermer dans un petit tube de verre de la limaille de fer dans laquelle plongent deux fils conducteurs. A l'état normal, cette limaille arrête le courant d'une pile ; mais si des ondes élec-

triques se propagent dans le milieu où se trouve ce tube à limaille, la résistance de celle-ci diminue beaucoup, et le courant de pile passe jusqu'à ce qu'un choc vienne redonner à la limaille sa résistance primitive. C'est là le principe de la *télégraphie électrique sans fils.* Ce moyen est plus sensible que celui des résonateurs, car il permet de reconnaître l'existence des vibrations hertziennes à plusieurs dizaines de kilomètres. Le tube de Branly a été nommé par Lodge *cohéreur.*

En réalité, le vibrateur ne donne pas naissance à des ondes de longueur unique ; si l'on explore le champ hertzien à l'aide de résonateurs de forme et de dimensions variées, on constate que les lignes nodales décelées par chacun de ces appareils sont placées à des distances différentes, suivant le résonateur employé ; on est donc en droit de penser que le vibrateur produit des ondes complexes qui peuvent être triées par des résonateurs convenables.

C'est ce qui explique pourquoi si, dans une salle, on entretient une décharge oscillante, on voit jaillir des étincelles entre les objets métalliques rapprochés.

L'expérience est facile à faire dans une pièce destinée aux applications de l'électricité statique, où l'on utilise habituellement une chaise ou un fauteuil recouvert de feuilles métalliques minces en or ou en cuivre ; ces feuilles présentent çà et là des solutions de continuité qui deviennent le siège de petites étincelles lorsque, la machine statique étant en activité, on rapproche l'une de l'autre les boules polaires ; il se produit alors des ondes électriques pour lesquelles certaines parties métalliques du siège se comportent comme de véritables résonateurs.

Le champ hertzien peut être concentré à l'aide de deux fils métalliques tendus, à partir du vibrateur et reliés à des plaques métalliques parallèles aux conducteurs constituant les deux armatures du vibrateur. Si l'on déplace un résonateur le long des fils de concentration du champ, on peut mettre en évidence l'existence de sections ventrales et nodales par les alternatives de fonctionnement et d'extinction du résonateur, et partager ainsi la longueur des fils en concamérations égales.

§ 2. — Dispositif à utiliser avec la machine statique.

Les phénomènes hertziens étant maintenant connus, voyons comment, avec la machine statique, se produit le champ hertzien.

Pour donner naissance aux phénomènes hertziens, on fixe aux collecteurs d'une machine statique deux bouteilles de Leyde par leurs armatures internes : les armatures externes sont reliées au sol, par un fil conducteur ou une chaîne. Les pièces polaires sont alors rapprochées l'une de l'autre de manière à ce que les étincelles jaillissent entre les boules métalliques lorsque la machine est en activité.

Pour bien comprendre les phénomènes électriques qui se produisent

dans ces conditions, nous allons examiner successivement les différents cas suivants :

Premier cas. La machine statique n'est pas munie de condensateurs ; les boules polaires sont assez rapprochées l'une de l'autre pour que des étincelles jaillissent. On a ainsi un condensateur dont le diélectrique est l'air et pour lequel la condition

$$R^2 < \frac{4L}{C}$$

est habituellement remplie ; il se produit une décharge oscillante donnant naissance au champ hertzien, facile à mettre en évidence dans le milieu ambiant par les petites étincelles qui jaillissent entre des pièces métalliques voisines assez rapprochées.

Deuxième cas. La machine statique est munie des seules armatures internes II' des bouteilles de Leyde (fig. 89), pendant que les boules polaires

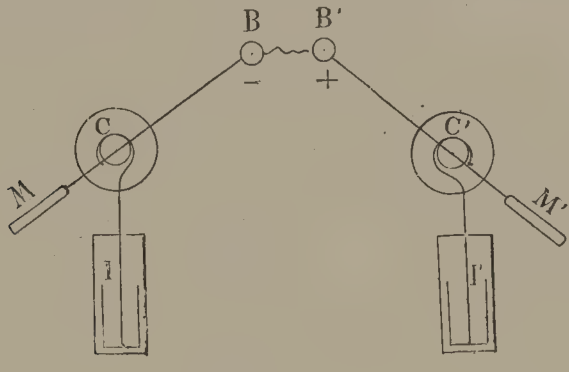


FIGURE 89.

BB' sont toujours assez près l'une de l'autre ; dans ces conditions, la capacité C du condensateur précédent a augmenté ; il en est de même de R et de L, mais dans de moindres proportions ; l'inéquation est toujours satisfaite, et le milieu environnant sera, comme tout à l'heure, le siège de phénomènes de résonance.

Troisième cas. La machine statique est munie de bouteilles de Leyde complètes, armatures internes et externes. La capacité des deux conducteurs CC' formant le vibrateur a encore augmenté, mais R^2 est en général demeuré, malgré cela, inférieur à $\frac{4L}{C}$ et la décharge est oscillante ; il y a création d'un champ hertzien dans le milieu ambiant.

Quatrième cas. Les armatures externes AA' (fig. 90) des condensateurs additionnels sont reliés au sol par des fils métalliques FF'. La réunion au sol des armatures externes fait subir pour la troisième fois une augmentation à la capacité C du condensateur qui se décharge. Si l'on remarque que dans l'inégalité

$$R^2 < \frac{4L}{C}$$

C est un dénominateur et que l'accroissement de cette grandeur fait diminuer le second nombre, on pourrait penser que $\frac{4L}{C}$ est alors plus petit que R^2 ; mais, à cause des valeurs ordinaires de R et de L, ce changement de signe n'a pas lieu et la décharge reste encore oscillante (Turpain).

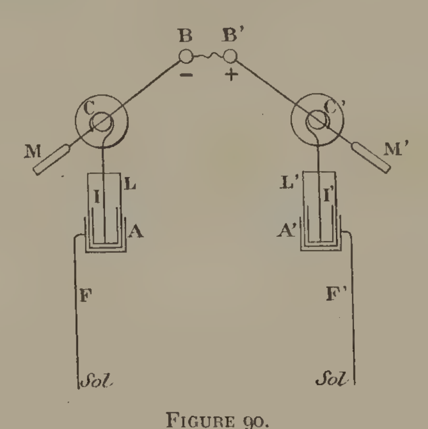


FIGURE 90.

Mais ce quatrième cas diffère des cas précédents par la distribution différente du champ hertzien.

Ici, en effet, le champ *est particulièrement concentré par des fils* qui pendent aux deux armatures externes des bouteilles de Leyde : on reproduit exactement la concentration du champ dont nous avons parlé plus haut; les armatures externes se comportent comme des plaques métalliques d'où partent les fils, plaques séparées de chaque conducteur du vibrateur par un diélectrique qui, au lieu d'être l'air, comme dans les expériences de Sarrazin et de La Rive et celles de Turpain, est le verre de chaque bouteille de Leyde.

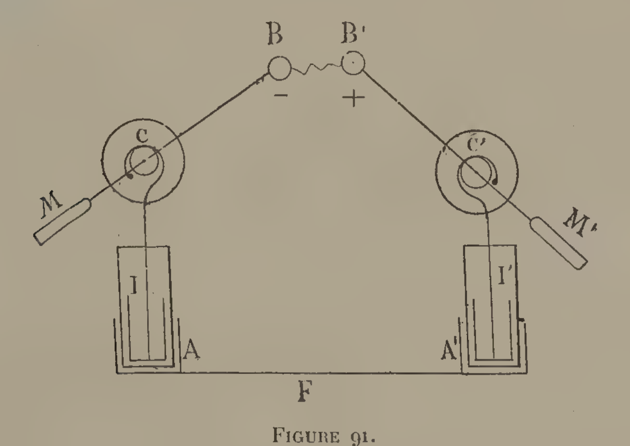


FIGURE 91.

Les phénomènes de résonance dans l'air sont ici très peu marqués en dehors du voisinage immédiat des fils, puisque la majeure partie du champ est concentrée par ceux-ci.

Cinquième cas. Les armatures externes AA′ des bouteilles de Leyde (fig. 91) sont reliées l'une à l'autre par un fil conducteur F; si R^2 est inférieur à $\frac{4L}{C}$, il y aura décharge oscillante, mais le champ hertzien sera concentré exclusivement sur le fil de communication des deux armatures : il s'ensuivra une notable diminution des phénomènes de résonance dans le milieu ambiant.

§ 3. — Concentration du champ hertzien.

Le quatrième cas est celui qui nous intéresse le plus, et il faut y revenir, après l'étude générale que nous venons de faire : les deux chaînes des armatures externes seront reliées par exemple aux deux électrodes d'un tube de Crookes convenablement orienté, comme on relie ce même tube aux bornes d'une bobine Ruhmkorff.

Ici le champ hertzien produit par les oscillations de la décharge du condensateur formé par les conducteurs CB, C′B′ de la machine est concentré par les deux fils et la fluorescence du tube apparaît aussitôt que la distance des boules B et B′ permet aux étincelles de décharge de jaillir.

Les considérations que nous avons développées justifient bien la production de phénomènes hertziens et la dénomination que nous avons proposée pour remplacer les termes vagues et indécis de « courants statiques induits » ou de « courants de Morton ». Mais s'il fallait encore une preuve de la production de vibrations hertziennes et de la création d'un champ hertzien lorsqu'on dispose la machine statique comme nous venons de l'indiquer, on la trouverait dans l'explication des accidents que nous avons constatés plusieurs fois en produisant cette forme d'électricité, accidents qu'il est utile de connaître, car ils peuvent occasionner de véritables désastres.

Voyons d'abord en quoi ils consistent : pendant le fonctionnement de l'appareil statique producteur du champ hertzien, il peut se produire, comme nous en avons été témoin, une véritable explosion ayant pour siège l'interrupteur d'une lampe à incandescence : un nuage formé par de la vapeur de cuivre s'élève au-dessus de l'interrupteur en porcelaine, et celui-ci est réduit en morceaux ; en même temps, le plomb fusible de la canalisation électrique fond, en sorte que le moteur actionnant la machine statique s'arrête. Cet accident est évidemment le résultat d'un court-circuit qui s'établit dans l'interrupteur au niveau de l'extrémité dénudée des fils conducteurs. Mais ce qui est le plus intéressant pour notre étude, c'est de connaître le mécanisme de la formation de ce court-circuit, cause de l'accident. Pour avoir la véritable explication de ce phénomène, il faut se rappeler les conditions de résonance électrique précédemment décrites : dans le cas réalisé par le dispositif indiqué (armatures externes reliées au sol), la résonance par l'air ne

peut être invoquée, car cette résonance est très faible pour des points un peu éloignés des boules polaires de la machine : n'oublions pas en effet que la majeure partie du champ hertzien est concentrée par les chaînes reliant les armatures externes au sol.

Les phénomènes de résonance pouvant donner lieu à la formation d'un arc et par conséquent d'un court-circuit en un point d'une canalisation électrique à 110 volts se produisent de la façon suivante : le champ hertzien est transporté par les chaînes jusqu'au plancher ; ce champ est transmis par le bois du plancher, médiocrement conducteur, et les parois de la pièce où sont placés les fils pour la distribution du courant industriel, pour être de nouveau concentré par les deux fils de la canalisation jusqu'à la lampe et à son interrupteur.

Or, il peut arriver que deux parties de ces fils soient à nu et que celles-ci soient assez rapprochées l'une de l'autre : la résonance électrique se produira alors entre ces parties décapées, c'est-à-dire qu'il jaillira un flot d'étincelles entre les deux fils. Si les fils présentent entre eux une différence de potentiel de 110 volts, comme dans le cas des courants industriels, un court-circuit aura lieu, et il se fera un arc produisant les effets désastreux signalés. Dans les accidents dont nous avons été témoin plusieurs fois, c'est précisément ce qui s'est passé dans l'interrupteur de notre lampe portative : il y avait deux parties dénudées des fils amenant le courant qui se trouvaient assez près pour que le phénomène de résonance ait lieu sous l'influence de la décharge oscillante de la machine statique.

Ce genre d'accidents pourrait entraîner de gros dangers, comme on le conçoit aisément ; aussi est-il nécessaire de surveiller attentivement la distance des parties décapées des fils d'une canalisation industrielle installée dans le voisinage de la machine statique avec laquelle on veut produire les phénomènes hertziens que nous venons d'indiquer.

Docteur H. Bordier,

Professeur agrégé
à la Faculté de Médecine de Lyon.

II. — NOTIONS GÉNÉRALES SUR LES MESURES ÉLECTRIQUES

CHAPITRE PREMIER

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES MESURES

Tout système de mesures comprend le choix d'unités et la comparaison des grandeurs à mesurer à ces unités. Nous allons d'abord nous occuper des unités actuellement employées pour l'évaluation des grandeurs électriques.

Afin de bien comprendre les raisons qui ont déterminé le choix de ces unités, il faut remonter un peu plus haut et prendre une vue d'ensemble sur les mesures en général.

Mesurer une grandeur, c'est déterminer combien de fois elle contient une autre grandeur prise pour unité.

Exemple. Nous voici en présence de diverses longueurs, nous chercherons combien de fois chacune de ces longueurs peut contenir une certaine longueur qui pourra être le mètre et nous trouverons que la première longueur contient 2 fois le mètre, la seconde 5 fois, la troisième 10 fois, etc. Nous dirons que nous avons mesuré ces longueurs à l'aide du mètre pris comme unité et qu'elles ont, pour abréger le langage, 2 mètres, 5 mètres, 10 mètres, etc.

Au lieu de prendre le mètre comme unité, nous aurions pu choisir une autre longueur, soit le pied, soit le yard, etc.; nous aurions, dans chaque cas trouvé, pour la même longueur, des mesures différentes.

Ce que nous venons de dire pour les longueurs pourrait se répéter pour les surfaces, les volumes, les poids, les quantités de chaleur, etc. Il faut toujours choisir une unité et chercher combien de fois ou de fractions de fois cette unité est comprise dans la grandeur à mesurer. Bien entendu, l'unité est toujours une grandeur de même espèce que les grandeurs à mesurer, c'est-à-dire pour les mesures de longueur, l'unité est une longueur; pour les mesures de poids, l'unité est un poids, etc. Ici, il y a lieu de faire

une remarque qui peut sembler superflue et qui l'est en effet pour les cas simples, mais dont la nécessité nous a bien souvent été montrée par l'expérience aussitôt que l'on sort des unités banales. Voici cette remarque :

L'unité choisie est une grandeur de même espèce que les grandeurs à mesurer, il ne faut pas la confondre avec la manière dont elle est représentée. Ainsi, pour nous donner l'unité de longueur, on nous vend des tiges de bois ou de métal portant une graduation ; or, le mètre n'est ni ce morceau de bois, ni ce morceau de métal, mais la longueur de ce morceau de bois. Un litre nous est fourni sous la forme d'une bouteille, le litre n'est pas cette bouteille, mais la capacité de cette bouteille. Prenons un cas un peu plus compliqué. On vend, pour évaluer les températures, des thermomètres gradués en degrés centigrades ; or, le degré n'est pas l'espacement de deux traits de l'échelle, mais l'élévation de température qui produit un déplacement d'une division de la surface libre du liquide dans la tige de l'instrument. Dans nombre de cas, l'unité est encore plus masquée, mais à la réflexion on arrive aisément à la dégager.

Nous arrivons maintenant à un autre point de la plus haute importance, dont la nécessité est reconnue par tout le monde, mais qui, par suite de considérations complètement étrangères à la science, n'a pu encore avoir l'assentiment de tous les peuples.

Chaque espèce de mesures doit se faire à l'aide d'une même unité. Ce principe a pour but de faciliter la comparaison des mesures effectuées par diverses personnes.

Prenons le cas le plus simple, il suffira pour faire comprendre tous les autres.

Supposons qu'un voyageur veuille prendre des mesures de longueur sur les divers objets qu'il rencontrera, il pourra se servir du bâton qu'il tient à la main. Ce bâton sera son unité et pourra lui servir pour toutes les comparaisons de longueurs qu'il désirera faire. Mais il lui faudra conserver avec soin ce bâton ; s'il venait à le perdre, toutes ses mesures seraient vaines, il ne suffira plus de savoir que tel édifice avait 100 fois la longueur du bâton, puisque l'on n'a plus la valeur de cette unité. En dehors du cas grave que nous signalons, il s'en présentera un autre très embarrassant ; si ce voyageur veut écrire ou faire comprendre à une autre personne quelle était la longueur d'un objet qu'il a mesuré. Il faudra absolument qu'il lui donne, en même temps que ses mesures, soit le bâton, soit un autre objet de même longueur, c'est-à-dire une copie de l'unité. N'est-il pas beaucoup plus simple d'adopter, une fois pour toutes, une certaine unité de longueur qui sera la même dans tous les pays, à l'aide de laquelle se feront toutes les mesures et que chacun pourra avoir entre les mains. Cette unité unique tend à se répandre de plus en plus; presque toutes les nations civilisées ont aujourd'hui adopté le mètre et l'on peut prévoir que dans un délai très court il sera d'un usage général.

Les mêmes observations s'appliquent à toutes les autres mesures de grandeurs; il n'y a pas lieu d'insister davantage, mais il faut voir maintenant comment il faut choisir chaque unité.

Il y a certaines grandeurs qui sont absolument indépendantes les unes des autres ; ainsi, il n'y a aucune relation entre les longueurs des corps et le temps qui s'écoule ; on peut donc choisir certaines unités sans se préoccuper d'autres unités existant déjà ; lorsque le mètre a été pris comme unité de longueur, on n'a nullement eu à se demander quelle était l'unité de temps; était-ce la seconde ou une division décimale de la journée ou de l'heure, cela n'y faisait rien. Nous verrons au contraire plus loin que cet arbitraire n'est pas général et que si l'on ne veut pas compliquer inutilement les calculs, certaines unités étant choisies, d'autres unités s'imposent logiquement.

L'étude approfondie de cette question montre que trois unités seulement ont pu être choisies arbitrairement : ce sont les unités de longueur, de temps et de masse.

On a adopté pour elles les valeurs suivantes :

Unité de longueur : le centimètre.
— de temps : la seconde.
— de masse : le gramme.

Nous n'insisterons pas ici davantage sur le choix de ces unités, ce qui nous entraînerait hors de notre sujet.

Ce système d'unités est désigné sous le nom de système C. G. S. (centimètre, gramme, seconde), et dans les traités elles sont représentées par la première lettre du nom de la grandeur qu'elles servent à mesurer : L, T, M.

Ces trois unités sont ce que l'on appelle les unités principales par opposition aux unités dérivées dont nous allons avoir à nous occuper maintenant.

Supposons que l'unité de longueur soit déterminée, nous allons montrer que l'unité de surface est reliée à cette unité de longueur.

En général, quand on veut mesurer une surface, on ne compare pas directement cette surface à l'unité comme on le fait pour les longueurs, mais on détermine certains éléments de cette surface et l'on applique une formule que nous enseigne la géométrie. Prenons le cas le plus simple, celui d'un rectangle ABCD dont les côtés ont les valeurs a et b.

Choisissons comme unité un autre rectangle A'B'C'D', de côté a' et b'.

La géométrie nous apprend que la surface du premier rectangle sera exprimée par

$$S = Kab,$$

K étant un certain facteur constant ne dépendant que de l'unité choisie. La surface du rectangle unité sera

$$S' = Ka'b',$$

Pour mesurer la première surface à l'aide de la seconde, il faut chercher combien de fois la première est comprise dans la seconde, c'est-à-dire diviser S par S'; on a alors

$$\text{Mesure de S} = \frac{ab}{a'b'} = \frac{a}{a'} \times \frac{b}{b'}.$$

FIGURE 92.

Si l'unité de surface est choisie de façon que $a' = 1$, $b' = 1$, c'est-à-dire soit 1 mètre carré, $\frac{a}{a'}$ et $\frac{b}{b'}$ sont les mesures de a et b au moyen du mètre et on a simplement :

$$\text{Mesure de S} = ab,$$

c'est-à-dire qu'en mesurant les côtés du rectangle à l'aide du mètre et prenant le mètre carré comme unité, il suffit de faire le produit des côtés du rectangle pour avoir sa surface à l'aide de l'unité adoptée. Ceci est extrêmement simple, aucun autre choix d'unité n'est aussi satisfaisant.

De même, on peut voir que, pour mesurer des volumes, il faut prendre pour unité un cube ayant 1 mètre sur chaque côté. D'une façon générale, on trouve que la mesure de toutes les grandeurs est reliée aux unités de longueur, de temps et de masse et qu'il y a intérêt à faire un choix particulier de l'unité de chaque espèce pour avoir des calculs simples comme nous l'avons montré pour les surfaces.

Pour chaque unité dérivée, une formule indique comment cette unité dérivée dépend des unités principales, cette formule est ce que l'on appelle la dimension de l'unité. La dimension de l'unité de surface est L^2, cela veut dire que, si l'on changeait la valeur de l'unité de longueur, la nouvelle unité de surface, établie d'après le principe exposé plus haut, varierait comme le carré de la nouvelle unité de longueur. Ainsi, si l'unité de longueur doublait, l'unité de surface deviendrait $2^2 = 4$ fois plus grande. Elle devrait, en effet, être un carré ayant la nouvelle unité comme côté, c'est-à-dire 2 mètres de côté ; elle aurait donc 4 mètres carrés et serait 4 fois plus grande que l'unité primitive. Si l'unité de longueur triplait, l'unité de surface deviendrait $3^2 = 9$ fois plus grande, etc.

De même, les dimensions de l'unité de volumes sont L^3.

La mécanique nous apprend que la vitesse d'un point s'obtient en divi-

sant la longueur du chemin parcouru par le temps; l'unité de vitesse sera une vitesse de 1 centimètre par seconde et ses dimensions seront $\frac{L}{T}$.

L'unité d'accélération sera une accélération de 1 centimètre par seconde et ses dimensions seront $\frac{L}{T^2}$.

L'unité de force sera la force qui donnera à l'unité de masse une accélération de 1 centimètre par seconde. Cette unité de force s'appelle la dyne, ses dimensions sont $\frac{ML}{T^2}$.

L'unité de travail est le travail produit par une dyne pendant un parcours de 1 centimètre. Cette unité s'appelle l'erg et ses dimensions sont $\frac{ML^2}{T^2}$.

Si nous comparons ces unités à celles plus répandues qui sont le gramme à Paris et le kilogrammètre, on trouve que la dyne vaut $\frac{1}{981}$ ou $\frac{1}{1.000}$ de gramme environ et l'erg $\frac{1}{98.100.000}$, c'est-à-dire environ 1.10^{-8} kilogrammètre.

Considérations générales sur les mesures électriques.

Passons maintenant aux mesures électriques. Les grandeurs que nous avons à considérer sont les quantités d'électricité, la capacité des corps, les potentiels, les intensités des courants et les résistances électriques des conducteurs.

Il existe entre ces diverses grandeurs un certain nombre de relations qui sont :
en représentant

Les quantités par Q.
Les capacités par C.
Les potentiels par V.
Les intensités par I.
Les résistances par R.

(1) $Q = aCV.$
(2) $Q = bIt.$
(3) $W = cI^2Rt.$
(4) $V = dIR.$

W étant l'énergie dépensée dans un conducteur de résistance R par un courant d'intensité I, et t exprimant le temps, a, b, c, d des facteurs constants.

Ces formules se trouvent dans tous les tracés d'électricité, nous n'insisterons pas sur la manière de les établir.

Les coefficients constants a, b, c, d ne disparaissent que par un choix convenable des unités, ce choix est facile à faire. Prenons par exemple l'équation (1); il nous suffira de convenir que dans le cas où l'on prend un corps de capacité représenté par 1 et chargé à un potentiel représenté aussi par 1, on obtient l'unité de quantité. (1) donne alors

$$1 = a.1.1.$$

Ce qui nécessite $a = 1$.

Nous passerons ensuite à (2) et nous dirons : quand il faudra 1 seconde pour qu'un courant débite 1 unité de quantité d'électricité, ce courant aura pour valeur (1), ce qui nécessite

$$1 = b.1.1.$$

Ou $b = 1$, et ainsi de suite nous pouvons nous arranger de façon à ce que tous les coefficients a, b, c, d se réduisent à 1 ; il devra alors y avoir entre nos unités électriques les relations

$$(5) \qquad Q = CV.$$
$$(6) \qquad Q = It.$$
$$(7) \qquad W = I^2Rt.$$
$$(8) \qquad V = IR.$$

Ce sont quatre équations de condition qui devront être satisfaites par les unités électriques Q, C, I, V, R.

Nous pouvons donc choisir arbitrairement une de ces cinq unités ; puis il suffira de porter la valeur choisie dans ces quatre équations et d'en tirer la valeur des quatre autres unités.

Il y a donc divers systèmes d'unités électriques suivant le choix arbitraire qui aurait été fait pour l'une d'elles. Cherchons à faire ce choix en nous rattachant au système C. G. S. On peut dire, par exemple, nous prendrons comme unité de quantité Q, la quantité d'électricité qui, agissant à une distance de 1 centimètre sur une quantité égale, produit une répulsion de 1 dyne.

L'unité Q étant fixée de la sorte, toutes les autres seront reliées à Q par les équations (5), (6), (7), (8), et seront ainsi déterminées. On a alors ce que l'on appelle le *système électrostatique*, ainsi nommé parce qu'il a son point de départ dans les actions électrostatiques étudiées par Coulomb.

Ce n'est pas ce choix qui a été fait, on a d'abord défini une unité de pôle magnétique. C'est l'intensité du pôle magnétique qui, agissant sur un pôle identique de même valeur placé à 1 centimètre, produit une répulsion de 1 dyne. Ceci fait, on a défini l'unité d'intensité de courant I en disant :

L'unité d'intensité sera celle d'un courant dont 1 centimètre de longueur produira sur un pôle magnétique placé à 1 centimètre une force de 1 dyne.

Dans ces conditions, le courant doit être un arc de cercle de 1 centimètre de rayon ayant un pôle magnétique en son centre.

L'unité d'intensité étant ainsi définie, on obtiendra toutes les autres unités, comme nous l'avons dit, et on a alors le système dit *électro-magnétique*.

On a aussi envisagé un troisième système dit *électro-dynamique* et basé sur les actions réciproques des courants sur les courants, mais c'est au système électro-magnétique que l'on s'est arrêté.

Nous ne pouvons dire ici comment on a fait pratiquement pour déterminer expérimentalement des unités électro-magnétiques et pour faire des étalons, l'étendue de cet article ne comporte pas d'aussi grands développements.

On a immédiatement constaté que les unités absolues que nous venons de définir ne conviennent pas aux besoins de la pratique courante, certaines d'entre elles sont trop grandes, d'autres trop petites ; on se sert alors de multiples ou de sous-multiples décimaux de ces unités et pour la commodité du langage on a donné à ces unités usuelles des noms dérivés du nom de savants s'étant illustrés par leurs travaux en électricité.

Ces unités usuelles sont :

Résistance.......	Ohm	valant	10^9	unités C. G. S.
Potentiel........	Volt	—	10^8	—
Intensité........	Ampère	—	10^{-1}	—
Quantité.........	Coulomb	—	10^{-1}	—
Capacité.........	Farad	—	10^{-9}	—

Ces multiples et sous-multiples sont divisés de façon à ne pas introduire de coefficients dans les équations 5, 6, 7, 8 ; il en résulte que dans (5) en multipliant une capacité exprimée en farads par un potentiel en volts, on a la quantité en coulombs. De même pour (8) par exemple qu'on peut écrire $I = \frac{V}{R}$; en divisant le potentiel en volts par la résistance en ohms on a l'intensité en ampères.

Dans (7), si on multiplie la résistance en ohms par le carré de l'intensité en ampères, on a l'énergie W exprimée à l'aide d'une unité à laquelle il faut donner un nom, ce n'est pas l'erg, mais un multiple décimal de l'erg, puisque I et R ont été mesurés avec des multiples décimaux des unités absolues. Ce multiple décimal de l'erg s'appelle le joule.

Le joule vaut 10 ergs.

Quand un courant dépense une énergie de 1 joule par seconde, on dit qu'il a une puissance de 1 watt.

Dans l'industrie, les puissances de machines s'évaluent encore à l'aide du cheval-vapeur. Le cheval-vapeur vaut environ 736 watts.

Parfois encore dans l'industrie on voit des mesures se faire au poncelet au lieu du cheval-vapeur. Le poncelet vaut 100 kilogrammètres par seconde

au lieu de 75, il est sensiblement équivalent à 1.000 watts, c'est-à-dire à ce que l'on appelle 1 kilowatt.

Nous allons résumer en un tableau les valeurs des diverses unités C. G. S. par rapport au système métrique :

Longueur......	centimètre.
Masse.........	gramme
Temps	seconde
Force..........	dyne environ 1 millig. $\frac{1}{981}$.
Travail........	erg, 1 dyne par cent., environ $1^{kg},10^{-8}$.
Ohm..........	10^9 unités C. G. S.
Volt...........	10^8 —
Ampère	10^{-1} —
Coulomb.......	10^{-1} —
Farad.........	10^{-9} —
Joule..........	10^7 ergs, $1^{kg},10^{-1}$ — $\frac{1}{981}$ kg.
Watt..........	1 joule par seconde.

Le cheval vaut 736 wats = 75 kg. par seconde.
Le poncelet vaut 100 kg. par '' = 1 kilowatt environ.

CHAPITRE II

MÉTHODES DE MESURE

§ 1. — Mesure des résistances.

L'unité de résistance est susceptible d'une représentation matérielle comme l'est l'unité de poids. De même qu'on livre dans le commerce de petits blocs de métal qui, sous l'influence de l'attraction terrestre, représentent une force de 1 gramme, de même on trouve aussi des fils conducteurs dont la résistance électrique est de 1 ohm.

Avant l'adoption du système C. G. S., divers expérimentateurs avaient déjà établi une sorte d'unité de résistance absolument arbitraire.

En 1838, Lenz, en rapportant ses expériences, disait qu'il se servait d'un fil de cuivre n° 11 d'une longueur de 1 pied comme unité. En 1843, Wheatstone proposa d'adopter d'une façon générale comme unité la résistance d'un fil de cuivre ayant un pied de long et pesant 100 grains. Divers savants choisirent aussi chacun son unité. Jacobi, le premier, pour permettre de rendre les résultats de divers expérimentateurs comparables, envoya dans leurs laboratoires un fil de cuivre en priant d'en prendre une copie. Cette unité porte le nom d'étalon Jacobi.

Mais les progrès de la télégraphie devaient bientôt donner aux mesures électriques une impulsion nouvelle, et afin de faciliter les calculs on choisit généralement comme unité une certaine longueur de fil télégraphique. En Angleterre on adopta le mille de fil de cuivre de 1/16 de pouce de diamètre; en Allemagne, le fil de fer n° 8; en France, le fil de fer de 4 millimètres de diamètre.

Mais ce choix ne servit pas à grand'chose, car bientôt on employa des fils divers pour les lignes aériennes et surtout pour les lignes souterraines. Pour chercher à porter remède à cette difficulté, et constatant la différence de résistance notable qui existait même entre deux fils de même dimension et de même métal, Werner Siemens proposa d'adopter comme unité la résis-

tance d'une colonne de mercure de 1 mètre de long et de 1 millimètre carré de section à 0°. On avait ainsi une unité bien définie, le mercure étant le seul métal que l'on pouvait se procurer toujours identique.

On en était là, lorsqu'en 1861 l'Association britannique pour l'avancement des sciences se proposa d'établir un système d'unités absolues. Une commission fut nommée, et, en 1864, elle put présenter l'étalon de résistance.

Depuis ce moment, l'unité de résistance a subi plusieurs modifications, sa détermination expérimentale ayant été faite avec plus de précision. Aujourd'hui, on s'est arrêté à un étalon définitif auquel on n'apportera plus de modifications même au cas où des expériences plus précises lui assigneraient une autre valeur absolue.

Cet étalon a été défini en septembre 1893 par le congrès de Chicago, comme la résistance à 0° d'une colonne de mercure de 106,3 centimètres de longueur de section uniforme, et pesant à 0° 14,4521 grammes. — Cet étalon a reçu le nom d'*ohm international* pour le distinguer de l'*ohm légal* employé avant lui depuis 1884 et de l'*ohm BA* de l'Association britannique.

De même que pour faire des pesées il ne suffit pas d'avoir à sa disposition le gramme, mais qu'il est nécessaire de posséder aussi divers multiples et sous-multiples, de même il faut aussi avoir divers multiples de l'ohm de façon à pouvoir réaliser toutes les valeurs comprises entre les limites dans lesquelles on peut être appelé à faire des mesures de résistance.

Cette condition peut être réalisée à l'aide de deux dispositifs différents : les rhéostats et les boîtes de résistance.

Les rhéostats sont des résistances graduellement variables. Ils consistent par exemple en un fil dont on utilise une longueur plus ou moins grande par un dispositif quelconque; des contacts, glissants par exemple, on passera d'une résistance à une autre par tous les degrés intermédiaires.

Avec les boîtes de résistance, il n'en est plus de même. Nous trouvons dans ces boîtes une série de bobines dont les résistances varient généralement comme les poids d'une boîte à poids. La résistance la plus faible étant l'unité, nous trouverons dans la boîte les résistances 2, 2, 5 ; puis 10, 10, 20 et 50 — 100, 100, 200, 500, etc.

La boîte contenant la valeur inférieure 1 ohm et valant en tout 1.000 ohms, par exemple, on pourra trouver toutes les valeurs entières d'ohms, mais l'on passera d'une valeur entière à la valeur immédiatement supérieure sans intermédiaire. C'est précisément ce qui se passe dans une boîte à poids. De même que nous comparons la boîte de résistance à une boîte à poids, de même nous pourrions comparer un rhéostat à un poids liquide. Supposons que ce poids soit de 1.000, nous pourrons, en en prenant une quantité appropriée, réaliser exactement un poids quelconque inférieur à 1.000 grammes. Au premier abord, il semble nécessaire de pouvoir réaliser

exactement une résistance quelconque, comme il est nécessaire de réaliser un poids quelconque, mais cela n'est pas.

La balance ne permet de comparer que des poids égaux ; quand on veut connaître le poids d'un corps, il faut pouvoir établir un poids égal, c'est ce qui nécessite les subdivisions du gramme jusqu'à la limite de sensibilité des balances. On peut éviter les poids très faibles en faisant usage d'un cavalier. Nous verrons que la méthode employée pour les mesures de résistance permet les déterminations les plus précises sans faire emploi des subdivisions de l'unité.

Les mesures se font pour ainsi dire toujours avec des boîtes de résistance, les rhéostats ne sont employés que dans des cas particuliers et leur précision est généralement assez faible.

Voici comment les boîtes de résistance sont disposées. Sur le couvercle se trouvent à la suite les uns des autres une série de plots en laiton entre lesquels on peut établir la continuité à l'aide de clefs. Quand toutes

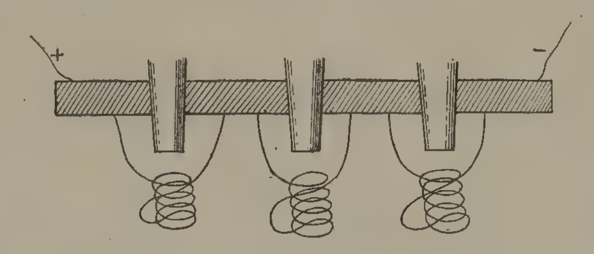


FIGURE 93.

les clefs sont en place, le courant ne rencontre sur son passage qu'une résistance insignifiante, mais si l'on vient à retirer l'une d'elles, le courant est obligé de traverser une bobine dont les deux extrémités sont reliées aux plots entre lesquels on vient de retirer la clef. On introduit donc dans le circuit la résistance de cette bobine. Vis-à-vis de chaque clef se trouve marqué sur le couvercle la résistance de la bobine correspondante et dès lors on se sert de cette boîte absolument comme d'une boîte à poids.

Pour faire l'enroulement des bobines, on commence par doubler le fil, on évite ainsi presque complètement la self-induction, mais on arrive à des capacités relativement considérables. On a attaché à cette forme d'enroulement une importance excessive, car ces bobines ne peuvent servir à faire des mesures que pour les courants continus, et dès lors leur self-induction, aussi bien que leur capacité, n'a plus aucun intérêt.

Il y a un point beaucoup plus important ; c'est celui de la variation que les résistances subissent avec les changements de température. En principe, une boîte n'a sa valeur qu'à une température bien déterminée, cette température est inscrite sur le couvercle ; toutefois, il est rare que l'on puisse se placer rigoureusement à cette température, il y a donc intérêt à ce que les variations soient aussi réduites que possible, résultat auquel on arrive plus ou moins à l'aide de certains alliages. En général, sauf des cas tout à fait

spéciaux, les boîtes sortant de chez les bons constructeurs peuvent servir sans correction dans les limites ordinaires de température des laboratoires.

Avant de passer aux rhéostats, il y a lieu de citer une disposition particulière des boîtes qui est comme un intermédiaire entre les deux sortes d'instruments.

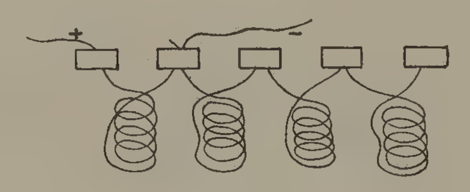


FIGURE 94.

Les bobines, au lieu d'avoir une résistance variable comme les poids d'une boîte, sont toutes égales entre elles et reliées comme dans les boîtes de résistances à une série de pastilles. Le circuit aboutit d'un côté à la première pastille et de l'autre à un frotteur pouvant se déplacer sur les diverses pastilles. La figure montre immédiatement que chaque fois que l'on passe d'une pastille à la suivante, on introduit la résistance d'une bobine dans le circuit. Avec dix bobines égales à 1 ohm chacune, on fait des résistances de 0 à 10 ohms. En ajoutant une deuxième série analogue composée de bobines de 10 ohms chacune, on fera les dizaines, une troisième donnera les centaines, une quatrième le mille. On pourra ainsi réaliser toutes les résistances d'un nombre entier d'ohms jusqu'à 11.110. Ces boîtes sont d'un usage très commode, mais elles nécessitent plus de bobines que les précédentes, et par suite sont plus chères.

Passons maintenant aux rhéostats continus.

La plupart du temps, ces rhéostats se composent d'un fil conducteur dont on fait varier la longueur à l'aide d'un dispositif quelconque. Par exemple, le courant entre par une des extrémités du fil reliée à une prise fixe, il sort par un contact mobile sur le fil, une glissière ou une roulette; la résistance sera d'autant plus grande que l'on éloignera davantage le contact mobile du contact fixe.

Ce procédé est très bon lorsque les limites dans lesquelles doit varier la résistance ne sont pas trop étendues. Dans le cas contraire, il faut avoir un fil d'une longueur considérable ou ayant une très grande résistance par unité de longueur.

Un fil de longueur très considérable nécessite un dispositif mécanique difficile à réaliser avec précision et l'usage de l'instrument n'est pas très commode.

Un conducteur de grande résistance par unité de longueur ne peut se trouver dans les fils métalliques; on emploie alors des tiges de charbon, graphite ou agglomérés divers, ou bien des tubes en verre contenant un

liquide. Ces corps ont une grande résistance spécifique, et on obtient alors même sur une faible longueur des résistances très considérables. Malheureusement, les rhéostats ou résistances fixes construits avec ces matériaux ont de grands inconvénients qui ne permettent pas d'en généraliser l'usage. Le principal de ces inconvénients est la grande variation que ces résistances subissent avec les changements de température. Les écarts qui s'introduisent ainsi lorsqu'on ne fait pas les corrections voulues peuvent atteindre les amplitudes qui rendent toute mesure illusoire. De toute façon, les rhéostats construits avec ce genre de résistance ne peuvent jamais atteindre de grande précision, car, un déplacement très faible du curseur donnant lieu à une variation de résistance très considérable, il n'est pas aisé d'arriver avec exactitude à la position voulue pour une résistance bien déterminée. Ces appareils rendent surtout de grands services lorsqu'il ne s'agit que de régler l'intensité d'un courant en modifiant la résistance du circuit traversé, sans avoir à connaître cette résistance.

Nous allons maintenant examiner les divers procédés qui permettent de mesurer une résistance.

Le procédé le plus précis consiste à comparer cette résistance soit à un rhéostat, soit, mieux encore, à une boîte à poids, ce dernier appareil étant, nous l'avons dit, toujours supérieur au premier.

La méthode de choix pour faire cette comparaison est celle du pont de Wheatstone. Voici le principe de cette méthode. On forme les quatre côtés d'un quadrilatère avec la résistance à mesurer x et trois résistances connues a, b, c; on relie deux sommets opposés du quadrilatère aux pôles

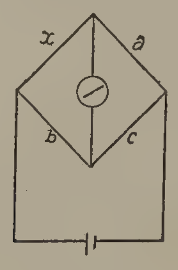


Figure 95.

d'une pile, et les deux autres sommets aux bords d'un galvanomètre. Quand il ne passe aucun courant dans le galvanomètre, c'est-à-dire qu'il reste au zéro, les quatre résistances satisfont à la condition

$$\frac{x}{a} = \frac{b}{c} \text{ ou } x = a \times \frac{b}{c}.$$

Il suffit de connaître a et le rapport $\frac{b}{c}$ pour déterminer x par le calcul.

Pratiquement, voici comment on dispose l'expérience : a est une boîte de résistance. b et c sont les deux parties d'un fil rectiligne sur lequel

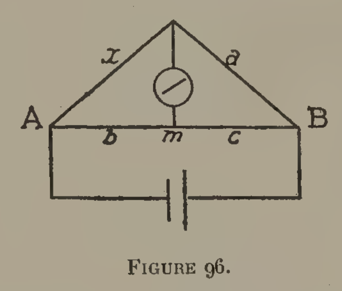


FIGURE 96.

peut se déplacer un contact glissant m. On met d'abord ce contact m au milieu du fil, alors $b = c$. On établit à peu près l'équilibre en tirant des clefs de la boîte a, c'est-à-dire que l'on cherche la résistance entière en ohms la plus voisine de x, on constate par exemple qu'un certain nombre d'ohms donne une déviation à droite du galvanomètre, un ohm de plus donnant une déviation à gauche. On prend une de ces deux valeurs et on achève l'équilibre, c'est-à-dire le maintien du galvanomètre au zéro, en déplaçant le contact m. Quand cet équilibre est établi, on a $x = a \times \frac{b}{c}$, en prenant pour b et c les longueurs de fil correspondants. En effet, comme le fil AB est de calibre uniforme sur toute sa longueur, on sait que $\frac{\text{Résistance } b}{\text{Résistance } c} = \frac{\text{Longueur } b}{\text{Longueur } c}$.

Nous ferons remarquer qu'il est permis, sans rien changer aux résultats, d'intervertir les places du galvanomètre et de la pile.

La méthode du pont de Wheatstone est la seule applicable dans les recherches de précision, mais parfois on désire se rendre un compte approximatif d'une résistance sans monter un appareil spécial. Il suffit alors de connaître l'intensité du courant qui traverse cette résistance et la différence de potentiel qui le produit pour avoir par une simple division la valeur de la résistance. Car on a alors d'après la loi de Ohm $R = \frac{E}{I}$. Or, E et I se mesurent très facilement comme nous le verrons plus loin. Pour appliquer ce procédé, il faut connaître toutes les résistances autres que celles à mesurer ; la formule $R = \frac{E}{I}$ donne en effet la résistance totale du circuit parcouru par le courant et il faudra pour avoir l'inconnue en retrancher la résistance du galvanomètre et des fils de jonction.

Dans un grand nombre de cas, il est très important de connaître la résistance intérieure des piles ou accumulateurs dont on se sert; on a ima-

giné dans ce but diverses méthodes dont voici de beaucoup la plus pratique :

On met la pile sur un galvanomètre et on note la déviation, puis on introduit dans le circuit une résistance de façon à ramener la déviation à moitié de sa valeur primitive.

On a, par cette opération, doublé la résistance totale du circuit, puisque l'intensité est tombée à moitié de sa valeur. Donc, la nouvelle résistance introduite est égale à la résistance à mesurer, plus la résistance du galvanomètre et des fils; il suffit donc de retrancher de cette nouvelle résistance introduite la résistance du galvanomètre et des fils pour avoir la résistance de la pile. Pour que cette opération comporte une précision satisfaisante, il est bon d'avoir un galvanomètre et des fils peu résistants. Il faut donc employer des fils gros et courts autant que possible. Nous verrons plus loin comment on diminue la résistance d'un galvanomètre.

§ 2. — Mesure des intensités.

La mesure des intensités est une des opérations les plus importantes dans la pratique électrique.

Nous avons déjà dit que l'unité qui sert à ces mesures est l'ampère. Cette unité est parfois trop grande, entre autres en électrothérapie, on emploie alors le milliampère ou millième d'ampère. Les instruments qui servent à la comparaison entre les intensités et leur unité peuvent se diviser en deux classes : les galvanomètres et les électrodynamomètres.

Nous n'entrerons pas dans la théorie élémentaire et la description des divers types de ces appareils, on trouve à ce sujet tous les renseignements désirables dans les traités élémentaires d'électricité. Nous rappellerons seulement que les galvanomètres sont basés sur l'action réciproque des courants et des aimants, tandis que les électrodynamomètres reposent sur l'action mutuelle des courants entre eux. Dans ces derniers appareils, il y a un circuit fixe et un circuit mobile traversés par le courant à mesurer, et la déviation du circuit mobile donne la mesure du courant.

Dans les galvanomètres, tantôt le circuit est fixe et le passage du courant produit la déviation d'une pièce aimantée mobile, ou bien l'aimant est fixe et c'est le circuit parcouru par le courant qui est mobile. Ce dispositif, introduit par M. d'Arsonval, tend à se répandre de plus en plus pour des raisons que l'on comprendra dans la suite.

Passons encore rapidement sur la manière dont se lit la déviation de la pièce mobile. Tantôt cette pièce est munie d'une aiguille aussi légère que possible, qui se meut sur un cadran divisé, tantôt elle porte un petit miroir sur lequel se réfléchit un rayon lumineux qui produit sur une échelle graduée une tache éclairée. Ce rayon lumineux joue le rôle d'un levier sans poids et très long, on peut ainsi lire avec précision les plus faibles déviations des galvanomètres.

Mais ce dispositif ne peut être employé que dans les expériences de laboratoire, tous les galvanomètres pratiques portent une aiguille avec un cadran gradué.

Galvanomètres à aimants mobiles. — Les galvanomètres à aimant mobile sont les plus anciens en date, c'est dans cette classe que se trouvent les instruments de plus haute sensibilité. Les anciens galvanomètres de Nobili étaient déjà de fort bons instruments comme sensibilité, mais ils avaient un grand défaut, c'était leur défaut d'apériodicité. L'équipage mobile, quoique léger, n'ayant pour ainsi dire pas d'amortissement, oscillait pendant un temps fort long, aussi bien pour donner l'indication du courant à mesurer que pour revenir au zéro. De ce chef, les expériences devenaient fort longues. Ce modèle n'est plus employé aujourd'hui, il a été remplacé par la boussole de Wiedemann et par le galvanomètre de Thomson. Dans ces deux types d'instruments, les oscillations s'éteignent très rapidement. Dans la boussole de Wiedemann, l'aimant mobile se déplace à l'intérieur d'une sphère de cuivre, il en résulte une sorte de frottement sous l'influence de ce que l'on appelle les courants de Foucault et un très bon amortissement des oscillations. Dans le type Thomson, l'équipage du miroir et des aimants est très léger et porte une ailette en mica qui, par suite de la résistance de l'air, donne aussi lieu pendant le mouvement à une résistance.

Dans ces dernières années, le Thomson a subi en France et à l'étranger diverses modifications qui en ont fait un instrument admirable à tous points de vue. Il est d'une apériodicité presque parfaite et d'une sensibilité plus que suffisante pour les recherches les plus délicates.

Actuellement, on ne peut assigner aux galvanomètres à aimant mobile que deux inconvénients, graves il est vrai. D'abord, ils ne sont que très difficilement transportables, mais ce qui est pis, c'est qu'ils sont influencés par les variations du champ magnétique dans lequel ils se trouvent. Même dans un laboratoire bien installé, il est extrêmement difficile de maintenir un galvanomètre sensible à un zéro fixe. Sans cesse, il se produit de petites oscillations par suite des variations du champ magnétique dans lequel on se trouve.

Si maintenant on veut se transporter dans un atelier ou une pièce où se trouvent des aimants mobiles, des machines électriques, des bobines d'induction, alors il n'y a plus à tirer de l'instrument aucune indication.

Galvanomètres à circuit mobile. — Les mêmes inconvénients ne se produisent pas avec les galvanomètres à aimant fixe et à cadre mobile. Ici le champ magnétique dans lequel se trouve le circuit parcouru par le courant est produit par un aimant très puissant et concentré à l'aide de pièces de fer convenablement disposées. Par rapport à ce champ puissant, les variations du champ terrestre sont minimes et absolument négligeables, on peut transporter ces instruments où bon semble sans voir varier leurs indications. On n'est pas encore arrivé à leur donner la haute sensibilité des

galvanomètres Thomson ni même de la boussole de Wiedemann, mais dans un grand nombre de cas ils sont d'un excellent usage.

Les galvanomètres à circuit mobile ont encore un autre avantage très considérable, c'est qu'ils sont très apériodiques, à la condition d'être en circuit fermé. Si, par exemple, on prend un galvanomètre Desprez-d'Arsonval à aimant en fer à cheval vertical, le cadre étant suspendu entre deux fils de tension fins servant ainsi à amener le courant, on constate qu'en écartant le cadre de sa position d'équilibre, puis l'abandonnant à lui-même, il prend un mouvement oscillatoire qui peut se prolonger fort longtemps. Si, au contraire, les bornes du galvanomètre sont reliées à un circuit fermé, l'appareil prend immédiatement sa position d'équilibre, soit quand il donne l'indication d'un courant, soit quand il revient au zéro. Dans certains appareils, le fil est enroulé sur un petit cadre en cuivre qui forme circuit fermé, l'instrument est alors apériodique dans toutes les conditions.

Électrodynamomètres. — Ainsi que nous l'avons dit, dans les électrodynamomètres il n'y a plus d'aimant permanent, mais une bobine ou un cadre mobile et un circuit fixe, le courant passe aussi bien dans le circuit fixe que dans la partie mobile dont on lit la déviation. Voici dans quels cas il y a lieu de se servir de ces appareils. Quand on renverse le sens du courant dans un galvanomètre ordinaire d'un type quelconque, la déviation de la partie mobile change de sens, il ne peut donc être question de se servir d'un pareil instrument pour mesurer un courant alternatif. Dans un électrodynamomètre, au contraire, si l'on ne renversait le courant que dans le circuit fixe ou dans le circuit mobile, on aurait un changement de sens de la déviation, mais en faisant un renversement simultané dans tout l'appareil, ce qui se produit forcément quand le courant est amené aux bornes extérieures de l'électro-dynamomètre, on a une déviation toujours de même sens.

Ces appareils peuvent donc servir pour la mesure des courants alternatifs.

Galvanomètres à fer doux. — Dans certains instruments, on a remplacé l'aimant par un fer doux qui s'aimante sous l'influence du passage du courant et prend une certaine position d'équilibre dépendant de l'intensité de ce courant. Dans un appareil de ce genre, quand on renverse le sens du courant, on renverse aussi l'aimantation; par conséquent, le sens de la déviation reste le même comme dans un électrodynamomètre et l'instrument peut servir pour des courants alternatifs.

Enfin il y a des appareils basés sur l'échauffement d'un conducteur sous l'influence du passage d'un courant, il suffit de transmettre à un système indicateur la dilatation produite par cet échauffement. Bien entendu, un appareil de ce genre peut servir pour les courants continus ou alternatifs.

Sensibilité des galvanomètres-shunt. — Quand on étudie les variations d'un courant, variations assez lentes pour que le galvanomètre ait le temps de prendre son équilibre, ou que l'on compare divers courants, on a toujours intérêt à ce que le plus fort courant employé donne au galvanomètre la plus forte déviation que l'on puisse lire. On se trouvera alors dans de bonnes conditions de sensibilité. Car si l'on ne prend que de petites déviations, elles sont trop voisines les unes des autres et les erreurs de lecture prennent une grande importance.

Il est donc nécessaire de pouvoir régler à volonté la sensibilité d'un galvanomètre. Dans certains instruments, comme la boussole de Wiedemann, ce réglage se fait très facilement en écartant plus ou moins les bobines traversées par le courant de l'aimant mobile. Mais il y a un procédé général s'appliquant à tous les galvanomètres, qui porte le nom de shuntage; voici en quoi il consiste: En même temps que l'on attache les fils amenant le courant aux bornes du galvanomètre, on réunit ces bornes par un fil conducteur. Le courant alors ne traverse plus que partiellement l'instrument, une partie va directement d'une borne à l'autre sans passer par les bobines, et en réglant convenablement la résistance du fil que l'on appelle un shunt, on détermine à volonté la fraction du courant total qui doit passer par le galvanomètre, on règle ainsi sa sensibilité.

On peut de la sorte mesurer les courants les plus forts avec l'instrument le plus délicat sans risques de le détériorer.

Graduation des galvanomètres. — Jusqu'ici nous n'avons envisagé le galvanomètre comme n'étant destiné qu'à nous montrer si les courants sont plus ou moins intenses ; mais nous n'avons pas cherché à les évaluer au moyen des unités électriques adoptées. Un grand nombre de galvanomètres arrivent d'ailleurs de chez le constructeur sans graduations, tous les instruments sensibles où la lecture se fait par réflexion sont dans ce cas. Les instruments destinés uniquement aux forts courants et où une aiguille se déplace sur un cercle sont au contraire livrés tout gradués.

Cette graduation se fait par comparaison avec un instrument déjà étalonné. Pour éviter dans ces étalons l'emploi d'aimants dont la variation pourrait donner lieu à des erreurs, on emploie de préférence des électro-dynamomètres ; c'est ainsi que M. Pellat a pu établir un ampère-étalon invariable.

Généralement on n'a pas cet instrument à sa disposition ; on peut alors, avec une assez grande approximation, se servir du procédé suivant. On fait passer dans le galvanomètre un courant produit par une force électromotrice connue, on détermine la résistance du circuit et l'on applique la formule de Ohm $I = \frac{E}{R}$.

On peut ainsi graduer un galvanomètre de proche en proche en faisant varier E et R, soit, ce qui est plus fréquent dans la pratique médicale, constater rapidement si un instrument n'a pas varié. Pour E, on prend une pile ou une série de piles de force électromotrice connue.

§ 3. — Mesure des potentiels.

On ne mesure jamais les potentiels en valeur absolue, on ne mesure que des différences de potentiel. De même en chaleur, quand on constate qu'un corps est à 10° centigrades, cela veut dire à 10° centigrades au-dessus de la température de la glace fondante, ce sont des différences de température que l'on considère.

Les instruments servant à la détermination des différences de potentiel sont de deux espèces, les galvanomètres et les électromètres. Je laisse de côté certains procédés spéciaux qui ne sont utilisés que dans les recherches de laboratoire.

Un galvanomètre quelconque peut servir à mesurer des potentiels, c'est-à-dire être gradués en volts ; il suffit pour cela que son fil ait une grande résistance, ou que l'on ajoute d'une façon permanente dans son circuit une résistance considérable. En voici la raison. Pour qu'il soit possible de graduer un galvanomètre en volts, il faut que toutes les fois où le voltage aura la même valeur, le galvanomètre prenne la même déviation, c'est-à-dire soit traversé par le même courant. Ce courant ne dépend pas seulement du voltage, mais aussi de la résistance du circuit qui doit par conséquent être dans tous les cas la même. On arrive à ce résultat en mettant d'une façon constante dans le circuit une résistance extrêmement considérable, de façon à faire perdre toute importance aux variations résultant des diverses sources à mesurer. — Cela fait, l'instrument se gradue en volts et devient un voltmètre.

Les voltmètres ainsi construits peuvent être à aimant mobile ou à aimant fixe, ou bien encore être des électrodynamomètres. Dans la pratique courante, ce sont généralement aujourd'hui des appareils à courant fixe pour les raisons que nous avons données à propos des ampèremètres.

Les électromètres sont basés sur l'attraction statique ou la répulsion de deux corps chargés d'électricité. Depuis longtemps on se sert dans les laboratoires de l'électromètre de Thomson pour la mesure des faibles potentiels.

Ces instruments se sont, après modifications, introduits dans la pratique courante pour la mesure des hauts potentiels. C'est ainsi que nous avons le voltmètre multicellulaire de lord Kelvin servant à partir de 70 volts. C'est une modification du modèle de laboratoire, consistant en une multiplication du nombre des cadrans fixes. Entre ces cadrans superposés se trouvent des aiguilles portées par une même tige mobile autour d'un fil de suspension vertical. L'amortissement se produit par un frottement dans un liquide.

Un autre modèle, dit voltmètre électrostatique de lord Kelvin, sert pour les potentiels 1.000 à 1.200 volts. Il ne comporte que deux paires de quadrants et une seule aiguille mobile autour d'un axe horizontal et ramenée au zéro par la pesanteur.

Un bon modèle de Carpentier peut servir pour les potentiels de 800 à 3.000 volts. Un cadre mobile sur un axe horizontal en irridium se déplace à l'intérieur de deux parties fixes agissant sur lui par répulsion. Un aimant permanent a pour but de rendre l'appareil apériodique.

Les électromètres ont sur les galvanomètres un très grand avantage, c'est qu'ils ne sont nullement sensibles au champ magnétique extérieur ; de plus, ils permettent de mesurer des potentiels plus élevés que les galvanomètres. Ils comportent cependant une source d'erreur.

Il peut arriver que les glaces dont on couvre les cadrans se chargent statiquement ; il en résulte alors une attraction perturbatrice sur l'équipage mobile. On évite cet inconvénient en envoyant sur la glace la buée de la respiration, ce qui la rend conductrice et lui permet de se décharger. On peut aussi l'enduire de certains mélanges transparents et cependant conducteurs, par exemple de gélatine contenant un peu d'acide sulfurique.

§ 4. — **Autres mesures.**

Pour être complet, il y aurait maintenant à indiquer comment se font diverses autres mesures, par exemple les mesures de quantité, de capacité, de champ magnétique, de coefficients d'induction.

Mais jamais l'on n'aura en radiographie à faire d'opérations de ce genre, aussi vaut-il mieux ne pas allonger inutilement le texte.

Docteur WEISS,

Ingénieur des Ponts et Chaussées,
Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Paris.

DEUXIÈME PARTIE

GÉNÉRATEURS EMPLOYÉS PRATIQUEMENT POUR LA PRODUCTION DES RAYONS X

GÉNÉRALITÉS

§ 1. — Conditions auxquelles devrait répondre le générateur idéal pour l'alimentation des tubes de Crookes.

Le générateur électrique idéal pour l'alimentation des tubes de Crookes producteurs de rayons X devrait répondre aux conditions suivantes :

1° Donner un flux *continu* d'électricité ;

2° Maintenir entre ses bornes une différence de potentiel toujours très élevée, environ 100.000 volts ;

3° Permettre une variation et un réglage de cette différence de potentiel d'un quart à peu près en plus ou en moins ;

4° Être susceptible d'un débit ou intensité oscillant autour du chiffre de 0A,002.

Ce sont là les conditions électriques que ce générateur devrait remplir. Il est facile de les justifier.

Forme du flux. — Aucun autre récepteur, si ce n'est le récepteur électrolytique, duquel le tube de Crookes se rapproche par plus d'un point, n'est moins susceptible d'être alimenté par un flux alternant. L'anode et la cathode du tube à rayons X sont si nettement différenciées l'une de l'autre, qu'il est inutile de rappeler ici les inconvénients graves qui peuvent résulter d'une erreur dans leur raccordement aux pôles du générateur. L'on trouvera aussi plus loin la description d'un instrument des plus ingénieux, la *soupape de Villard*, destiné, comme son nom le fait pressentir, à ne permettre le passage du courant dans le tube que dans un seul sens, quelles que soient les oscillations de la force électromotrice de la source. Donc, avec les tubes de Crookes en usage aujourd'hui, le flux d'alimentation ne peut être alternatif, il doit être *dirigé dans le même sens* ou *continu*.

Différence de potentiel aux bornes. — Bien que les données expérimentales directes soient ici à peu près nulles, nous pouvons cependant par estime et en nous reportant à des phénomènes analogues apprécier le taux, ce que les Anglais appelleraient le *range*, des différences de potentiel que doit fournir le générateur d'électricité pour rayons X. L'on peut en effet pour la mesure des différences de potentiel très élevées substituer à leur expression en volts la longueur de l'étincelle équivalente. Cette étincelle équivalente dans l'air, qui mesure aussi la *rigidité électro-statique* de ce diélectrique, est fonction d'une part de la différence de potentiel, mais dépend aussi de la forme des électrodes entre lesquelles jaillit l'étincelle. Pour une même différence de potentiel, la longueur de l'étincelle sera différente entre deux plateaux, deux petites sphères, deux pointes, etc. D'ailleurs, d'autres conditions interviennent encore, telles que l'humidité de l'air, l'état des pointes, l'éclairement de la lacune franchie par l'étincelle et probablement la nature du générateur qui produit la différence de potentiel donnant naissance à la décharge disruptive.

La considération de toutes ces causes, qui font varier dans une large mesure les conditions expérimentales, n'explique pas pourquoi l'on trouve dans les auteurs de si grosses divergences lorsque l'on cherche à déterminer à quelle distance explosive *équivaut* une différence de potentiel donnée. Voici quelques chiffres à ce sujet :

100.000 volts correspondent à une distance explosive de :

9^{cm},3 d'après Bourne, 1893 (entre plateaux de 6^{cm},3 de diamètre) ;
5 ,8 d'après Mascart, 1876 (entre boules de 2^{cm},2 de diamètre) ;
24 ,9 d'après Steinmetz, 1898 (entre pointes) ;
11 ,4 d'après Joubert, 1901 (entre boules de 3 centimètres de diamètre).

Calculer une moyenne en partant de chiffres aussi divergents n'est pas permis, évidemment ; cependant, si l'on veut malgré tout tirer un enseignement pratique de leur lecture, on ne s'écartera pas trop de la réalité en disant qu'à une distance explosive de 10 centimètres correspond, à peu près, une différence de potentiel d'environ 100.000 volts.

Or, 10 centimètres est la distance explosive à peu près équivalente aussi à la résistance moyenne des tubes de Crookes pour rayons X, d'où la justification de cette seconde condition énoncée plus haut : que le générateur doit pouvoir maintenir entre ses bornes de départ une différence de potentiel d'au moins 100.000 volts.

Nécessité de pouvoir faire varier et régler cette différence de potentiel. — La troisième qualité que nous demanderions à un générateur idéal pour rayons X est de pouvoir faire varier la différence de potentiel qu'il produit dans d'aussi grandes limites que possible, mais au moins dans les limites d'un quart en deçà ou au delà de 100.000 volts. Cette qualité est évidemment moins importante que les deux premières et que celle qui va suivre, mais elle paraît cependant indispensable si l'on songe aux variations de résistance, quelquefois assez brusques, que peu-

vent présenter les tubes à rayons X dont nous nous servons aujourd'hui. Il semble d'ailleurs que cette qualité soit assez facile à obtenir ; une résistance ohmmique ou une self placées sur l'inducteur de la bobine de Ruhmkorff la donnent à ce générateur. Avec la machine statique, on peut encore, en se servant d'un détonateur à écartement variable, obtenir une élasticité analogue et l'on n'a que rarement besoin d'ajuster la résistance du tube pour la différence de potentiel fournie par la machine.

Conditions relatives au débit. — La quatrième condition fixe la puissance moyenne du générateur en fixant l'intensité moyenne du courant qu'il doit pouvoir fournir, la chute de potentiel aux bornes étant déjà fixée. Cette intensité moyenne est fort difficile à déterminer, et je ne sache pas que des mesures directes aient été faites, en branchant, par exemple, un ampèremètre sur l'induit d'une bobine de Ruhmkorff, ou sur une machine statique, pendant que ces générateurs alimentaient un tube de Crookes. A cause de ce défaut de mesures directes, nous ne pouvons qu'évaluer grossièrement les intensités fournies ou à fournir par les générateurs aptes à produire les rayons X. L'évaluation qui suit n'est donc là que pour fixer les idées et limiter les suppositions, mais nous nous rendons parfaitement compte, tout le premier, combien les mesures qui lui servent de base sont insuffisantes.

Avec un tube de Crookes de petit volume (Colardeau) de 5 à 7 centimètres d'étincelle équivalente, j'ai fait une expérience dans laquelle la bobine absorbait 20 volts et 2 ampères dans l'inducteur, l'intensité étant mesurée avec un ampèremètre à fil chaud. Cela fait une puissance absorbée de 40 watts. Si l'on suppose le rendement de la bobine très inférieur au rendement ordinaire des transformateurs à circuit magnétique fermé et se rapprochant de la fraction 70 p. 100 (1), on trouve que la puissance disponible dans l'induit est voisine de 28 watts. Si l'on évalue, d'après M. Joubert (1901), à 75.000 volts la différence de potentiel correspondante à 5 centimètres d'étincelle, on trouve que pour 28 watts de puissance l'intensité débitée sous 75.000 volts est à peu près de 1/2 milliampère.

Dans une autre expérience, j'ai alimenté un tube de Chabaud à anticathode refroidie de 10 centimètres d'étincelle équivalente avec 40 volts aux bornes de l'inducteur d'une grosse bobine de Ruhmkorff et 10 ampères mesurés avec un ampèremètre à fil chaud. Cela faisait une dépense de puissance de 400 watts à peu près, dix fois plus grande que dans la première expérience. En supposant le même rendement de l'appareil que dans le premier cas, il restait disponible aux bornes de l'induit 280 watts. Si l'on évalue, toujours d'après le même auteur, à 100.000 volts à peu près, la différence de potentiel correspondant à une longueur d'étincelle de 10 centimètres, on trouve que l'intensité débitée dans ce cas sous 100.000 volts est d'environ 3 milliampères.

(1) Je m'empresse de dire que nous n'avons là-dessus aucune donnée.

Donc, d'après ces calculs, que je n'ai rapportés ici, je le répète, que pour donner une idée de l'ordre de grandeur des intensités que nous devons demander au générateur idéal destiné à alimenter nos tubes à rayons X, ces intensités varieraient autour du chiffre de 1 milliampère avec des variations en plus ou en moins du quintuple de cette intensité.

D'ailleurs, si l'on se reporte aux mesures qui ont pu être faites, au moyen de la bouteille électrométrique de Lane, sur la puissance des machines statiques pouvant être utilisées pour alimenter les tubes à rayons X, on trouve que les intensités calculées d'après ces données se placent parmi les chiffres les plus bas (0,1 milliampère à 0,5 milliampère) de l'échelle dont nous avons indiqué ci-dessus les limites très approximatives.

§ 2. — Quels sont les générateurs d'électricité répondant à ces conditions ?

Générateurs inusités. Piles. — D'après ces bases bien incertaines, si l'on passe en revue tous les générateurs d'électricité industriels ou autres pouvant être utilisés pour l'alimentation des tubes à rayons X, on est frappé du petit nombre de ceux qui peuvent convenir. N'insistons pas pour les piles primaires. Les piles secondaires ou accumulateurs ont bien donné, entre les mains de quelques savants, de très hautes différences de potentiel, mais la difficulté d'isolement, l'encombrement, l'usure, le coût de ces nombreuses petites batteries, sans compter la manipulation de leur charge en quantité et de leur couplage en tension pour la décharge, ne leur ont pas permis d'être utilisées dans la pratique au delà de quelques milliers de volts (1).

Générateur de Truchot. Machine rhéostatique de Planté. — Truchot avait eu l'idée (2) de remplacer, en électrothérapie, la machine statique, par un générateur complexe pouvant donner des courants comparables à ceux de l'appareil qu'il voulait éliminer comme trop capricieux et comme se prêtant mal aux mesures. Ce générateur complexe serait composé de 500 petits couples secondaires d'à peu près 0,01 ampère de capacité, pouvant être chargés, par séries de 50, par le courant d'une usine à 110 volts. Avec les 500 couples réunis en tension, on aurait chargé en quantité les condensateurs, au nombre de 30, 50 ou 80, d'une machine rhéostatique de Planté. En réunissant ensuite en tension ces condensateurs on aurait pu avoir des décharges mettant en jeu des différences de potentiel de 30, 50 ou 80 mille volts. Un commutateur tournant aurait fait alterna-

(1) Planté avait installé pour ces recherches 800 couples secondaires divisés en 20 groupes de 40 éléments. Il pouvait les réunir tous en surface pour les charger avec deux éléments de Bunsen, ou tous en tension au moyen du commutateur qui a longtemps porté son nom. Trowbridge en avait récemment installé une de 10.000 couples.

(2) *Arch. d'élect. méd.*, 1896, p. 444.

tivement le groupement en quantité des condensateurs, et leur couplage avec la batterie, d'une part; d'autre part, leur groupement en tension et leur couplage avec l'appareil utilisant la décharge de haute tension.

Dispositif de Trowbridge. — Trowbridge a réalisé plus tard l'idée de Truchot (1). Au moyen de sa batterie secondaire de 10.000 couples, il put mettre en jeu, dans la décharge obtenue au moyen de la machine rhéostatique de Planté, des différences de potentiel allant jusqu'à 1.200.000. Cet auteur pouvait, avec ladite machine, alimenter des tubes de Crookes dans lesquels le vide avait été fait jusqu'à un tel degré, qu'une étincelle de bobine d'une longueur de 8 pouces (20 centim.) ne pouvait vaincre leur résistance.

Dispositif d'Elihu Thomson. — Enfin, plus récemment, le professeur Elihu Thomson s'est encore servi de la machine rhéostatique de Planté pour produire de grandes différences de potentiel (2). Mais au lieu d'utiliser, comme Truchot voulait le faire et comme Trowbridge l'avait fait, une nombreuse batterie de couples secondaires, il utilisait le courant sinusoïdal du secondaire d'un transformateur à haut voltage. Au moyen d'un commutateur, mû par un moteur synchrone, les condensateurs de la machine rhéostatique étaient couplés avec le circuit du secondaire juste au moment où la force électromotrice passait par son ordonnée maxima positive, et seulement à ce moment de la période. Le transformateur avait d'ailleurs son primaire branché sur un circuit de ville à 110 volts alternatifs. L'appareil aurait donné des étincelles de 12 pouces (30 centim.) se succédant très rapidement.

Ces sortes de générateurs, dont nous venons de citer trois exemples, ne sont que des curiosités de laboratoire. Ils ont pour caractéristique de donner des courants discontinus, mais toujours dans la même direction. Ils auraient pu être utilisés, du moins les deux derniers, pour la production des rayons X ; voilà pourquoi il m'a paru bon de les signaler ici. Qui sait si de nouveaux perfectionnements ne permettront pas de les faire entrer dans la pratique, d'où les excluent aujourd'hui, d'abord leur non-existence commerciale, et, peut-être aussi, leur complication et leur prix.

Parmi les autres générateurs qui conviennent *de plano* à la production des rayons X, nous laisserons de côté la *machine dite statique*, qu'il vaudrait mieux appeler *générateur mécanique par influence* ou *machine à influence*, car un chapitre spécial lui sera consacré. Nous ferons simplement observer que ce générateur remplit à peu près toutes les conditions que nous avons demandées plus haut pour le générateur électrique idéal. La quatrième de ces conditions, relative au débit du générateur, ne semble pas être complètement remplie ; en effet, le débit des machines à influencer, même de celles du plus grand modèle, semble encore inférieur sensiblement au chiffre élevé, apprécié plus haut, qu'exigent aujourd'hui, en intensité, les tubes de Crookes puissants récemment construits.

(1) *Arch. d'élect. méd.*, 1898, p. 251.
(2) *Arch. d'élect. méd.*, 1900, p. 745.

Dynamo à courant continu. — La dynamo à courant continu est un générateur dont la force électromotrice ne semble pas pouvoir être élevée au delà de quelques milliers de volts. L'ancienne dynamo Brush de 3.000 volts, encore en marche dans beaucoup d'installations industrielles d'éclairage par arcs en tension, n'a que rarement été dépassée comme voltage, encore donne-t-elle un courant ondulatoire bien que de même sens (1).

Générateurs à courants alternatifs. — Les générateurs à courants industriels tels qu'on les construit peuvent encore moins convenir. La première condition, en effet, relative au flux continu, oblige à les rejeter. Toutes les autres conditions cependant peuvent être remplies par ces générateurs accouplés à des transformateurs instantanés, et l'on se rend bien compte que, si l'on supprimait une des alternances sur deux, le courant, par ce fait devenu ondulatoire, pourrait être utilisé pour l'excitation des tubes à rayons X. Quelques tentatives ont été faites dans cette voie ; nous citerons la plus importante, celle tentée par Villard (2), qui a construit dans ce but tout un outillage dont nous allons donner une idée par la description qui suit.

Comme on l'a vu plus haut, les transformateurs instantanés branchés sur la canalisation parcourue par des courants alternatifs permettent, dans l'industrie, d'élever ou d'abaisser la tension de ces courants dans des limites étendues. Tout dépend du rapport de *transformation* du transformateur. Les transformateurs dans lesquels le rapport de transformation oscille autour du chiffre de 300 (ils permettent d'élever la tension de 100 à 30.000 volts) sont déjà rares dans l'industrie, à cause de la difficulté d'isolement des lignes aériennes ou souterraines. Mais lorsque, comme en radiographie, toute ligne vraie est supprimée, le rapport de transformation pour des transformateurs de faible puissance peut être porté beaucoup plus haut. Il a pu être porté à 500 et même à 1.000 pour certaines applications des courants de haute fréquence (d'Arsonval, *Exposition Universelle de* 1900, statue de l'Électricité).

Dispositif de Villard. — Le transformateur instantané à circuit magnétique fermé, employé par M. Villard pour l'excitation des tubes à rayons X, consomme, d'après cet auteur, 7 à 8 ampères, sous 110 volts dans le circuit primaire, et donne entre les bornes du secondaire 50.000 volts efficaces environ, soit 70.000 volts maxima. Mais citons textuellement M. Villard (3), on ne pourrait mieux, ni plus succinctement décrire cet intéressant appareil, pas plus que ses applications en radiographie : « Avec cet appareil ainsi alimenté, l'étincelle entre boules de 2 centimètres de diamètre jaillit à une distance de 9 centimètres, lorsque le courant primaire est amené lentement

(1) Très récemment M. Thury a construit une dynamo à courant continu donnant 25.000 volts. *Arch. d'élect. méd.*, mai 1902.

(2) Villard, Les courants alternatifs et la radiographie. *Arch. d'élect. méd.*, 1900, p. 502.

(3) Villard, Les courants alternatifs et la radiographie. *Arch. d'élect. méd.*, 1900, p. 503.

à sa valeur normale. S'il en est autrement, la distance explosive peut accidentellement dépasser 20 centimètres.

« L'étincelle ainsi obtenue est une véritable flamme, de la grosseur du doigt; entraînée par l'air qu'elle échauffe, elle forme au-dessus de l'excitateur un arc sinueux dont le développement, favorisé par la conductibilité de l'air chaud, atteint 30 à 40 centimètres (fig. 97). On peut modérer ces effets au moyen d'un rhéostat intercalé dans le circuit primaire et on arrive à obtenir une étincelle analogue à celle de la bobine de Ruhmkorff; mais on réduit en même temps le voltage.

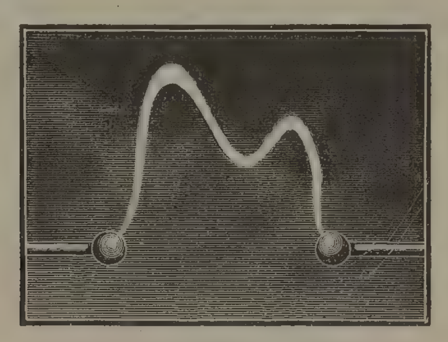


Fig. 97. — Aspect de l'étincelle donnée directement par le dispositif de Villard.

« Cet appareil pourrait à la rigueur être utilisé tel quel pour alimenter un tube de Crookes ; toutefois sa puissance, énormément supérieure à celle d'une bobine de Ruhmkorff, en rendrait le maniement difficile : pour peu que la résistance du tube de Crookes vienne à faiblir, celui-ci serait exposé à « s'emballer », et pourrait être mis hors de service.

« Un contact accidentel entre les fils reliés au secondaire, ou même un simple rapprochement de ces fils, suffiraient pour que le courant secondaire prît une intensité exagérée ; le courant primaire pourrait alors dépasser 60 ampères. Enfin, le voltage serait insuffisant pour la plupart des usages radiographiques.

« Le dispositif suivant supprime ces divers inconvénients.

Dispositif secondaire. — « Les extrémités libres S, S′ des fils secondaires (fig. 98) sont fixées à demeure aux armatures A, A′ de deux condensateurs de faible capacité, faisant corps avec le transformateur. Les armatures B, B′ sont munies de deux bornes *b*, *b′* auxquelles on attache des fils conduisant le courant au tube de Crookes ou à un appareil quelconque, un excitateur à étincelles EE′ par exemple.

« Le circuit secondaire est ainsi coupé par les lames isolantes des condensateurs; il en résulte qu'à chaque alternance on ne prend au transformateur que la quantité d'électricité qui charge les armatures, A, A′, B, B′, au potentiel des extrémités du fil secondaire. Le débit électrique est ainsi rigoureusement limité par l'appareil lui-même.

« On obtient alors, entre les boules E, E′ de l'excitateur, un flot d'étin-

celles brillantes (80 à 100 par seconde, suivant la fréquence du courant) qui ne présentent jamais l'aspect de flamme, caractéristique des courants intenses. On peut sans inconvénient rapprocher les boules E, E', les mettre en court-circuit : le débit du transformateur ne dépasse pas la valeur qui lui est imposée par la capacité des condensateurs. En même temps, tout danger a disparu pour l'opérateur.

« On peut à volonté réduire la puissance de ces décharges : il suffit d'ajouter soit un, soit deux condensateurs supplémentaires (condensateurs de machine statique par exemple) en série avec les premiers. Ces additions diminuent la capacité, et l'intensité du courant est réduite dans la même proportion. On est donc absolument maître de la quantité d'électricité qui passe entre les boules de l'excitateur ou dans le tube de Crookes.

« L'expérience montre que la dépense d'énergie nécessaire pour obtenir des étincelles beaucoup plus puissantes que celles d'une bobine de Ruhmkorff est presque insignifiante : l'intensité du courant primaire reste à peu près la même qu'en marche à vide.

« Disons en passant que le dispositif précédent convient parfaitement pour obtenir l'étincelle condensée au moyen de laquelle on produit les courants à haute fréquence. Il suffit de relier l'excitateur EE' aux armatures internes du couple de bouteilles de Leyde qu'on emploie dans ce cas.

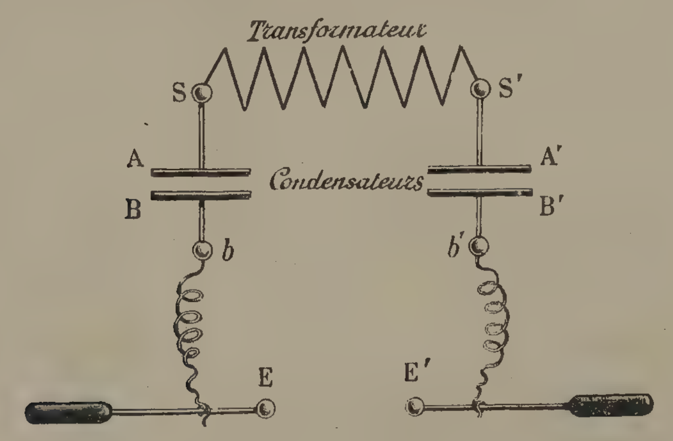


Fig. 98. — Schéma du dispositif de Villard.

Soupape survoltrice. « L'appareil qui vient d'être décrit est l'équivalent d'une très puissante machine statique, mais d'une machine alternative. Pour pouvoir l'utiliser avec les tubes de Crookes, on supprime l'une des alternances de la manière suivante : Une soupape électrique NP est disposée entre les bornes *b*, *b'* (fig. 99) ; cette soupape n'offre qu'une résistance insignifiante quand l'électrode N est cathode ; mais elle résiste à 60.000 volts pour l'alternance inverse. Il en résulte que l'une des alternances passe par la soupape et non par le tube de Crookes C ; c'est le contraire qui a lieu à

l'alternance suivante, N étant alors positif. Le tube de Crookes est ainsi traversé par une série de décharges de sens constant, en nombre égal à celui des périodes du courant (40 à 50 par seconde).

« Le rôle de cette soupape ne consiste pas seulement à éliminer l'une des alternances ; le voltage disponible est en même temps considérablement accru. L'étincelle qu'on obtient entre les boules de l'excitateur EE' atteint 18 centimètres ; si on remplace les boules par des pointes, la distance explosive s'élève à 24 centimètres.

« Dans la pratique, en raison de ce voltage élevé, on doit employer, non pas une, mais deux soupapes en série. La résistance de chacune d'elles ne dépasse guère, en effet, 60.000 volts (1). Il est donc nécessaire d'en employer deux ; cela donne en même temps plus d'élasticité à leur réglage. L'entre-

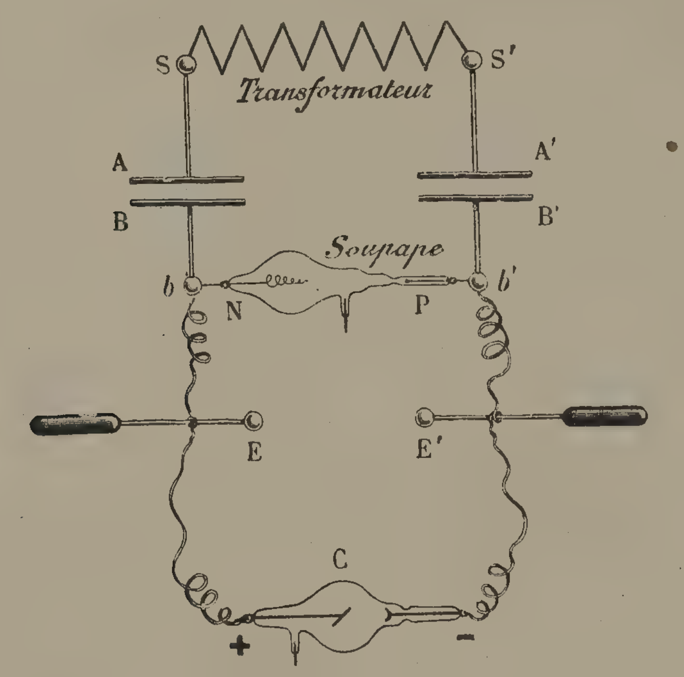


Fig. 99. — Dispositif de Villard avec la soupape survoltrice et le tube de Crookes.

tien de ces soupapes est, d'ailleurs, très simple : quand elles deviennent trop résistantes, les cathodes en spirale déterminent sur les parois une fluorescence de même forme, et le courant inverse passe alors en partie dans le tube de Crookes, ou il produit, derrière l'anticathode, une plage fluorescence aisée à reconnaître. On introduit alors du gaz dans les soupapes par les osmo-régulateurs, jusqu'à disparition de ces effets.

« La figure 100 indique comment on doit disposer les condensateurs additionnels k, k' pour réduire le débit, dans le cas, par exemple, où on se propo-

(1) M. Villard entend par cette expression que chaque soupape ne résiste pas à une pression supérieure à 60.000 volts.

serait d'alimenter un tube Colardeau. Le courant sera d'autant plus faible que les condensateurs auront une surface plus petite et une épaisseur de verre plus grande, et il sera moindre avec deux condensateurs qu'avec un seul.

« Rien n'empêche, d'ailleurs, de compléter l'installation en mettant un rhéostat dans le circuit primaire. On est ainsi à même de régler exactement les conditions de l'expérience et de les reproduire en toute certitude.

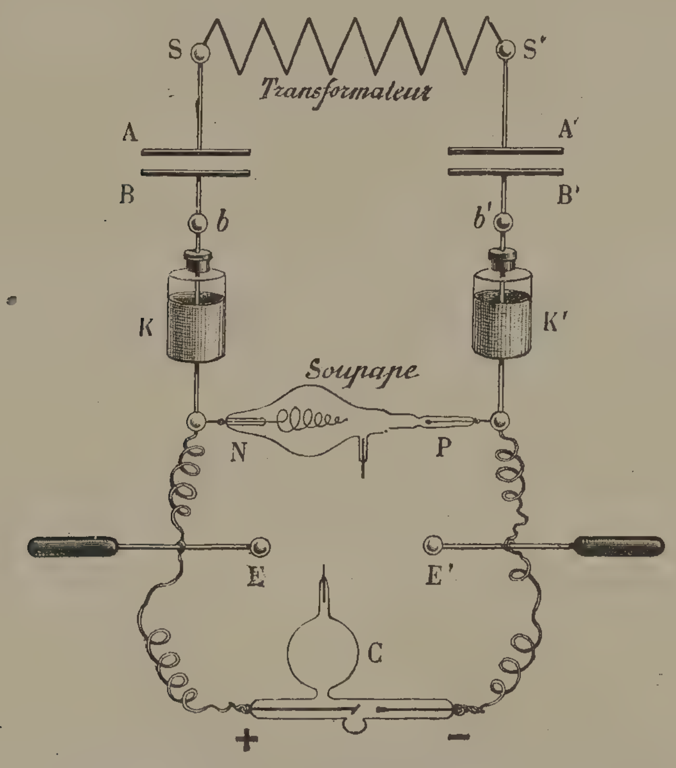


Fig. 100. — Dispositif de Villard avec condensateurs additionnels de petite capacité pour réduire le débit. Alimentation d'un tube Colardeau.

Subdivision du courant secondaire. « Le transformateur-condensateur permet de résoudre pour les rayons X un problème analogue à celui de la division de la lumière électrique. La puissance de l'appareil étant de beaucoup supérieure à celle dont on a besoin, on peut, sans inconvénient, alimenter deux groupes de condensateurs disposés comme le montre la figure 99, et faire fonctionner deux tubes de Crookes C, C_1 (fig. 101) soit simultanément, c'est-à-dire sur la même alternance, soit sur les alternances opposées. Dans la figure 101, les choses sont disposées de telle sorte que les tubes fonctionnent alternativement, à 1/40 ou 1/50 de seconde d'intervalle, selon la fréquence du courant. Il suffirait de retourner la soupape NP et le tube C, pour que la marche soit simultanée.

« Les deux installations AA'BB'NPC et $A_1A'_1B_1B'_1N_1P_1C_1$ sont indépendantes, et, pour cette raison, il est inutile que les deux tubes C, C_1 aient la même résistance. On peut même mettre en court-circuit les bobines b'_1, b_1, par exemple, sans que le tube C cesse de fonctionner. On peut également remplacer ce tube par un appareil quelconque, un excitateur à étincelles ou un dispositif à haute fréquence. On dispose, en un mot, de deux sources électriques distinctes et d'égale puissance. Dans le cas où un seul est nécessaire, on peut réunir ces deux sources en quantité en reliant B à B_1, B' à B'_1 ; la soupape N_1P_1 est alors inutile.

« La possibilité d'illuminer ainsi alternativement deux tubes de Crookes

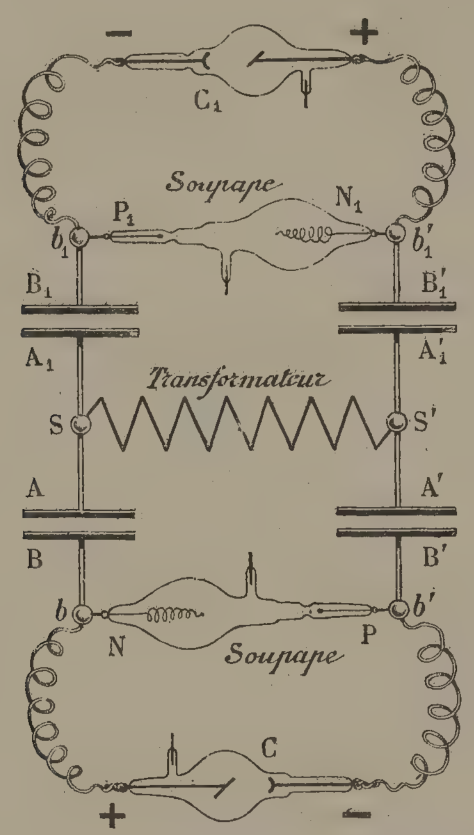


Fig. 101. — Dispositif de Villard alimentant simultanément deux tubes de Crookes, chacun d'eux sur l'une des alternances du courant primaire.

fournit une solution nouvelle du problème de la radioscopie stéréoscopique. Il suffit, en effet, que ces tubes soient placés devant l'écran fluorescent, et qu'on regarde cet écran au travers de deux ouvertures placées devant les yeux de l'opérateur et démasquées alternativement par un dispositif synchrone facile à imaginer.

Effets produits. « Les tubes de Crookes se comportent avec le transformateur tout autrement qu'avec une bobine de Ruhmkorff. Bien que

l'étincelle dont on dispose ne dépasse guère 24 centimètres entre pointes, la mise en route d'un tube résistant est plus facile avec le transformateur qu'avec une bobine donnant une étincelle beaucoup plus longue. J'ai fait à ce sujet de nombreuses expériences au moyen d'un tube ayant servi pendant longtemps et présentant, par suite, le défaut de devenir très résistant quand on le laissait en repos pendant quelques heures. Après quelques essais préalables destinés à adapter en quelque sorte le tube à cette nouvelle source électrique, la marche de celui-ci est devenue parfaitement régulière, et, même après vingt-quatre heures de repos, le démarrage a toujours été instantané. On doit évidemment se garder de généraliser en pareille matière ; mais il semble que la parfaite égalité de toutes les décharges données par le transformateur constitue un réel avantage.

« Au point de vue radioscopique ou radiographique, les résultats se rapprochent beaucoup, à la puissance près, de ceux qu'on obtient avec la machine statique. Les images observées sur l'écran fluorescent sont, à égale résistance du tube, beaucoup moins grises qu'avec les bobines, et cependant on reconnaît aisément des objets opaques au travers du thorax ou de la tête. L'écran est bien éclairé, et la lumière est naturellement très fixe.

« Cette ressemblance avec la machine statique se manifeste également en radiographie. Les os sont traversés aisément et en même temps l'ombre des chairs est visible avec quelques détails. On a évidemment affaire à un rayonnement très complexe, et les clichés ont, par suite, une tendance marquée au voile. Cet inconvénient est, d'ailleurs, facile à supprimer. Il suffit de poser sur la surface sensible une feuille métallique mince qui fait l'office de filtre : elle arrête les rayons peu pénétrants, en particulier ceux qui proviennent de la diffusion, et n'oppose qu'un obstacle insignifiant aux rayons capables de traverser, par exemple, les os du bassin. L'emploi d'écrans latéraux est également très efficace.

« Dans ces conditions, on obtient une très bonne radiographie de tête en moins de deux minutes, le tube étant à 60 centimètres de la plaque, et l'étincelle équivalente étant maintenue entre 12 et 15 centimètres. Pour radiographier un bassin d'adulte, la pose normale est de trois minutes.

« Par suite de la très grande régularité que présente le fonctionnement d'un transformateur, instrument dans lequel tous les phénomènes sont purement électriques, les résultats ne dépendent plus que de la résistance du tube, et l'expérience a montré qu'il est inutile de faire varier celle-ci ; elle doit rester constamment voisine de 15 centimètres d'étincelle équivalente. On voit qu'il est facile, avec un peu d'habitude, d'obtenir par cette méthode des épreuves tout à fait régulières et comparables entre elles. »

Malgré les qualités de cet appareil qui permettaient de connaître toutes les constantes électriques pendant son fonctionnement, il ne s'est pas répandu dans la pratique, et c'est aujourd'hui la bobine de Ruhmkorff et la machine statique qui sont les sources les plus utilisées pour alimenter les tubes à rayons X.

§ 3. — Générateurs employés communément. Machines statiques et bobines.

On peut dire qu'aujourd'hui, malgré leurs imperfections, qui ressortent de l'exposé des qualités du générateur idéal fait au début de cet article, les machines statiques et les bobines d'induction sont les seuls générateurs employés en radiographie et en radioscopie. Nous décrirons ces deux générateurs avec tous les détails théoriques et pratiques que comporte leur utilisation rationnelle.

I. — APPLICATIONS DES BOBINES A L'EXCITATION DES TUBES DE CROOKES

CHAPITRE PREMIER

BOBINE

§ 1. — Structure.

La bobine de Ruhmkorff est un transformateur instantané à circuit magnétique ouvert, transformant un courant interrompu de basse tension en une série de décharges de très haute tension. Masson et Bréguet, en 1842, avaient fait construire un appareil qui peut être considéré comme la première bobine d'induction (1); mais, en 1851, Ruhmkorff obtint des effets beaucoup plus puissants, avec un dispositif analogue et plus parfait dans sa construction. C'est ce dispositif qui, perfectionné dans ses détails depuis, mais sans grands changements dans sa forme primitive, est devenu la *bobine d'induction* ou bobine de Ruhmkorff actuelle.

Comme tous les transformateurs instantanés, la bobine d'induction comprend un *circuit magnétique* et *deux circuits électriques*. De ces deux circuits : l'un, le *primaire*, ou *circuit inducteur*, est traversé par le courant à

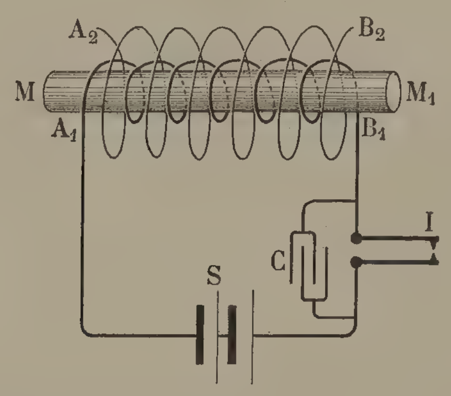


Fig. 102. — Schéma des circuits dans la bobine de Ruhmkorff.

M M_1, circuit magnétique. — A_1B_1, primaire. — A_2B_2, secondaire. — I, interrupteur. C, condensateur. — S, source de courant continu.

(1) *Ann. de chim. et de phys.*, 3e série, tome IV, p. 129.

transformer; l'autre, le *secondaire*, ou *circuit induit*, est traversé par le courant à utiliser.

En plus des transformateurs instantanés ordinaires, la bobine d'induction comprend un interrupteur placé sur le circuit primaire et un condensateur placé en dérivation sur l'interrupteur; une source de courant continu alimente la bobine. Le schéma du circuit est donc celui que représente la figure 102.

§ 2. — Ce que l'on sait de la théorie de la bobine d'induction.

Comme le dit M. Armagnat (1), « la théorie des bobines d'induction est encore très mal connue, et il n'existe pas de relation mathématique bien établie entre les différents facteurs du problème ». Cela tient à des raisons multiples, mais particulièrement au coefficient de transformation très élevé de la bobine et, d'autre part, à la variation de résistance au niveau du point de rupture du circuit primaire, résistance dont la loi est inconnue et peut varier d'ailleurs avec chaque espèce d'interrupteur. Nous ne dirons ici de cette théorie que ce qui est confirmé par l'expérience et ce qu'il est utile d'en connaître en radiographie.

§ 3. — Les flux d'induction dans la bobine.

Tout d'abord nous rappellerons que, lorsque, l'interrupteur I étant fermé, le courant traverse le circuit primaire, le faisceau de fils de fer formant le

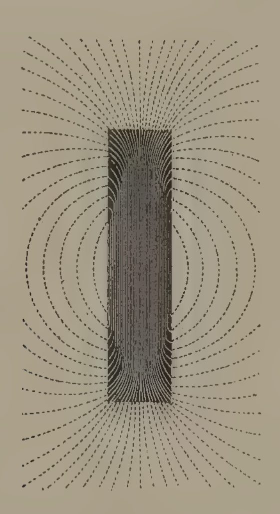


Fig. 103. — Trajet des lignes de force dans et autour du noyau magnétique de la bobine (*d'après Sylvanus P. Thompson*).

(1) H. Armagnat, Eléments de la théorie des bobines d'induction. *Arch. d'élect. méd.*, mai 1901, p. 264.

noyau de la bobine est le siège d'un flux magnétique, concentré dans le noyau à l'intérieur de la bobine, mais dont les *lignes de flux* ou *lignes de force* s'échappent en bouquet aux deux extrémités du faisceau pour se fermer sur elles-mêmes par l'air, suivant les trajectoires dont les spectres magnétiques sont la représentation matérielle (fig. 103). Tant qu'il n'y a aucune variation dans le courant primaire, il n'y a aucune variation dans le flux; aucune différence de potentiel ne se produit aux extrémités du circuit secondaire A_2B_2, et le courant inducteur est dépensé inutilement dans la bobine. Mais si, au moyen de l'interrupteur, on produit dans le courant primaire les deux *états variables* de *fermeture* et *d'ouverture*, le flux magnétique varie, et cette variation produit des *courants d'induction* dans les deux circuits qui l'embrassent. Nous rappelons que ces courants d'induction ou *courants induits*, découverts par Faraday, en 1831, obéissent aux lois suivantes :

1° *La durée du courant induit est égale à la durée de la variation du flux magnétique qui lui a donné naissance ;*

2° *Le sens du courant induit est tel qu'il tend à empêcher la variation du flux qui lui a donné naissance* (Loi de Lenz).

§ 4. — Éléments des courants induits dans la bobine.

Sens des courants induits. — Tout d'abord ces deux lois nous renseignent sur deux des éléments des courants induits dans la bobine : le *sens* des courants et leur *durée*.

Pour se rendre bien compte du sens des courants induits de la bobine, il suffit d'appliquer la loi de Lenz et d'observer que tous les flux magnétiques créés par les divers courants se superposent dans le noyau de fer ; les flux s'ajoutent ou se retranchent suivant leurs sens, comme des courants électriques. Si à un premier flux qui naît dans le noyau vient s'en superposer un autre de sens contraire, le flux résultant est moindre que le flux primitif. Si le flux superposé est de même sens, le flux résultant est plus grand.

Or, l'état variable de fermeture du courant inducteur produit un flux magnétique dirigé dans un certain sens et croissant. Pour empêcher, suivant la loi de Lenz, la variation de ce flux, qui lui a donné naissance, le courant induit devra donc en produire un autre de sens contraire. Donc le sens du *courant induit de fermeture* sera de *sens contraire* par rapport au *courant inducteur*. De la même manière, on trouverait que le sens du *courant induit d'ouverture* ou *de rupture* est de *même sens* que le courant inducteur.

La bobine d'induction produit donc des courants induits alternativement dans un sens et dans l'autre ; considérée comme un générateur des courants, c'est un *alternateur* à courants alternatifs simples.

Durée des courants induits produits par la bobine. — La durée d'un courant induit, d'après la loi énoncée plus haut, est égale à la durée de la variation du flux qui lui a donné naissance. Nous n'avons donc qu'à

chercher la durée de la variation du flux ou encore la durée des deux états variables du courant inducteur d'où proviennent les deux variations du flux donnant naissance aux courants induits.

Courant induit de fermeture. L'état variable de fermeture du courant inducteur est celui pendant lequel le courant, au moment de la fermeture de l'interrupteur, passe de l'intensité zéro à l'intensité maxima qu'il peut avoir dans le circuit primaire de la bobine. Cette intensité maxima est représentée par l'équation selon la loi d'Ohm :

$$I^{max} = \frac{E}{R}.$$

E étant la force électromotrice de la source alimentant la bobine ; R étant la résistance du circuit primaire. Si cet état variable n'était pas accompagné d'une variation de flux, qui donne elle-même naissance à des courants induits tant dans le primaire que dans le secondaire de la bobine, il n'y aurait aucun empêchement à cette variation du flux (loi de Lenz) et le courant arriverait instantanément à l'intensité maxima définie par la loi d'Ohm. Mais cet état variable du courant primaire induit dans le circuit primaire, son propre circuit (*self-induction*), un courant de sens contraire. Cet état variable induit encore dans le circuit secondaire de la bobine (*induction mutuelle*) un courant toujours de sens contraire. Ces deux courants induits, dans le primaire par *self-induction*, dans le secondaire par *induction mutuelle*, provoquent des flux dans le noyau, qui tendent à empêcher la variation du flux principal née de l'état variable du courant inducteur. Pour cette cause, la variation de ce flux principal ne pourra se faire instantanément, et le courant inducteur n'arrivera qu'après un certain temps à sa valeur de régime, son intensité maxima fixée par la loi d'Ohm.

Calculer le temps que dure l'état variable de fermeture, en tenant compte à la fois de la self-induction et de l'induction mutuelle, est pour le moment fort difficile et n'a pas été fait. L'action du circuit secondaire est « extrêmement mal connue » (1). En effet, en plus de l'*induction mutuelle* qui s'exerce entre ces deux circuits, le circuit primaire et le circuit secondaire, le circuit secondaire, lui-même, a une induction propre, une self-induction ; il a de plus une capacité. Or, c'est de tous ces éléments qu'il faudrait tenir compte dans une théorie complète.

Simplifions donc, et calculons la durée de l'état variable de fermeture en ne tenant compte que d'un seul élement, d'ailleurs le plus important, la self-induction du primaire (2). Appelons L_s le coefficient de self-induction du

(1) ARMAGNAT, *Arch. d'élect. méd.*, p. 278.

(2) Le *coefficient de self-induction* d'un circuit est le rapport qui existe entre la variation du flux de force embrassé par ce circuit et la variation de l'intensité du courant traversant le circuit. Ou, plus simplement, le flux développé dans le circuit par un courant égal à l'unité.

$$L_s = \frac{\text{Flux}}{\text{Intensité de courant}} = \frac{\Phi}{I}.$$

L'unité de coefficient de self-induction est la self-induction d'un circuit, qui, traversé

circuit primaire. Nous devons à Helmholtz l'expression mathématique suivante, qui donne l'intensité I_t du courant inducteur, au bout d'un instant très court, t, après que l'interrupteur a été fermé.

$$I_t = \frac{E}{R}\left(1 - e^{-\frac{R}{L_s}t}\right).$$

Dans cette formule, I_t est exprimé en ampères, E en volts, R en ohms, L_s en henrys, et t en secondes. e est la base des logarithmes népériens, c'est-à-dire le nombre 2,7183. Un examen rapide de cette formule nous montre que le terme entre parenthèses :

$$1 - e^{-\frac{Rt}{L_s}} \qquad (a)$$

est un terme plus petit que 1, puisqu'il se compose de l'unité diminuée d'un nombre positif entier affecté d'un exposant négatif. L'intensité I_t au temps t est donc toujours plus petite que l'intensité maxima définie par la loi d'Ohm $I\max = \frac{E}{R}$. On peut calculer, comme l'a fait S.-P. Thompson (1), les diverses intensités qui se succèdent lorsque l'on fait croître t, en donnant aux quantités du terme entre parenthèses (a) les valeurs concrètes suivantes, valeurs qui exagèrent le phénomène. E = 10 volts, R = 1 ohm, L_s = 10 henrys.

t en secondes	I_t en ampères
0	0,
1	0,950
2	1,810
5	3,936
10	6,343
20	9,646
30	9,501
60	9,975
120	9,999

Ce tableau montre, qu'à cause de la grande self-induction dont on a supposé le circuit en question affecté, même au bout de 10 secondes, l'intensité n'a pas atteint beaucoup plus de la moitié de la valeur qu'elle aura une fois le régime définitif établi ; au bout de 120 secondes (2 minutes), l'intensité n'est pas encore égale à l'intensité maxima donnée par la loi d'Ohm.

La durée des courants induits, éléments dont nous essayons de nous

par l'unité C.G.S. d'intensité ou 10 ampères, produit à travers ce circuit un flux d'induction égal à l'unité.

Cette unité étant trop petite dans la pratique, on se sert d'une unité 10^9 fois plus grande, à laquelle on a donné le nom d'*Henry*. (Voir pour un exposé simple et clair des phénomènes de self-induction, G. Claude, l'*Electricité à la portée de tout le monde*, 3e édition, p. 329.)

(1) *L'électro-aimant*, traduct. Boistel, Paris, 1895, p. 271.

rendre compte en ce moment, n'est donc pas toujours très courte comme on le croit quelquefois ; elle peut être, au contraire, fort longue, puisque cette durée est corrélative de celle de l'état variable du courant inducteur, état variable qui dépasse, dans l'exemple choisi plus haut, 120 secondes.

Constante de temps. Nous pouvons remarquer que, dans le tableau calculé plus haut au bout de 10 secondes seulement, l'intensité du courant a acquis plus des $\frac{6}{10}$ de son intensité maxima (exactement 0,634), tandis qu'il lui faut un temps 11 fois plus grand pour acquérir un peu moins des $\frac{4}{10}$ restant. Limitons donc à cette fraction de l'intensité maxima, 0,634, l'intensité utilisable et cherchons la durée de l'état variable nécessaire pour l'atteindre.

Si nous faisons, dans le terme (a) de l'expression mathématique d'Helmholtz, l'exposant :

$$\frac{R}{L_s} t = 1,$$

il vient :

$$1 - e^{-1} = 1 - \frac{1}{e} = \frac{e-1}{e}$$

et en remplaçant e par sa valeur :

$$\frac{e-1}{e} = 0{,}634.$$

La formule complexe d'Helmholtz se réduit donc dans ce cas particulier à :

$$I_t = \frac{E}{R} \times 0{,}634.$$

Cette fraction de l'intensité maxima que nous considérons est donc atteinte pour :

$$\frac{R}{L_s} t = 1,$$

d'où :

$$\frac{L_s}{R} = t.$$

Le quotient $\frac{L_s}{R}$ est appelé la *constante de temps* du circuit (S.-P. Thompson), car il représente le temps que met, dans ce circuit, le courant pour atteindre la fraction 0,634 de sa valeur finale (1).

(1) La raison pour laquelle on donne le nom de constante de temps à l'expression $\frac{L_s}{R}$ ne serait pas celle indiquée par S.-P. Thompson d'après Palaz (*Cours d'électricité industrielle*, Lausanne, 1892).

L'équation de dimensions de $\frac{L_s}{R}$ est :

$$\frac{L_s}{R} = \frac{L}{LT^{-1}} = T.$$

La constante en question aurait donc les dimensions d'un temps, d'où son nom de *constante de temps*.

On voit donc que, pour un même circuit, on aura beau varier la force électromotrice d'alimentation, les courbes d'accroissement de l'intensité ne différeront que par l'échelle, et le *même temps* sera toujours employé pour atteindre la même fraction de l'intensité maxima. Le nom de constante de temps est donc bien appliqué au quotient $\frac{L_s}{R}$.

Dans les limites où nous raisonnons, nous pouvons donc conclure que : *la durée du courant induit de fermeture est proportionnelle au coefficient de self-induction L_s, du circuit inducteur et inversement proportionnel à la résistance ohmmique R de ce circuit.*

Courant induit d'ouverture. La durée de l'état variable d'ouverture ou de rupture est encore plus difficile à connaître que celle de l'état variable de fermeture. En effet, à toutes les causes déjà si nombreuses qui font varier la durée du courant induit de fermeture, vient s'ajouter une nouvelle inconnue, la résistance du circuit inducteur au moment où le circuit métallique est rompu. A cet instant jaillit, entre les pièces de l'interrupteur, une étincelle ; cette étincelle prolonge en quelque sorte les pièces de l'interrupteur et sert de passage au courant. Or on ne sait rien sur la résistance de cette étincelle ni sur la loi de la variation de sa résistance. On ne peut donc raisonner comme on l'a fait pour l'état variable de fermeture.

Concluons donc, comme le fait M. Armagnat, et disons que : « les phénomènes qui se produisent à la rupture du circuit sont des plus complexes et rarement susceptibles d'une interprétation mathématique exacte. C'est surtout dans le cas le plus simple, comme celui de la bobine, qu'il est le plus difficile d'avoir une idée nette de la façon dont s'effectue la suppression du courant ».

Tout ce qui nous importe ici et dont on est sûr, c'est que l'état variable de rupture est beaucoup plus *court* que celui de fermeture; qu'il devient encore plus court par l'adjonction du condensateur de Fizeau, lequel atténue beaucoup l'étincelle de rupture sans la supprimer et permet un état variable de rupture plus *régulier* et plus *rapide* du courant inducteur.

Force électromotrice des courants induits. — Nous connaissons d'abord le sens des forces électromotrices tant dans le circuit primaire — force électromotrice de self-induction — que dans le circuit secondaire— force électromotrice d'induction mutuelle. Ce sens est donné par la seconde loi de l'induction formulée plus haut. Les forces électromotrices, produites dans le circuit primaire et dans le circuit secondaire par l'état variable de fermeture, seront de sens opposé à la force électro-motrice de la source alimentant la bobine ; les forces électromotrices produites par induction par l'état variable de rupture ou d'ouverture seront de même sens que celle de la source.

Cherchons à apprécier leur valeur et commençons par la force électromotrice de self-induction, c'est-à-dire la force électromotrice σ qui naît dans

le circuit primaire. Cette force électromotrice sera proportionnelle au coefficient de self-induction et à la variation du courant par rapport au temps :

$$\sigma = - L_s \frac{dI}{dt}.$$

Si bien que pendant la fermeture, en appelant E la force électromotrice de la source, et R la résistance totale du circuit, on aura :

$$I = \frac{E - \sigma}{R}.$$

Comme la variation totale du courant pendant les deux états variables est la même et passe de zéro à I^{max}, les forces électromotrices moyennes seront égales à LI^{max} divisé par la durée de chacun des états variables, T, pour celui de fermeture, et t pour celui de rupture. Or t, durée de l'état variable de rupture, est extrêmement court ; d'où une valeur très grande de l'expression LI^{max}, qui représente la force électromotrice moyenne du courant de self-induction de rupture, appelée par Faraday *extra-courant* de rupture.

La grandeur de cette force électro-motrice, capable de franchir l'intervalle d'air ou d'autre diélectrique existant déjà entre les deux parties métalliques de l'interrupteur, explique les étincelles violentes qui se produisent à ce niveau au moment de la rupture (1).

(1) On peut se rendre compte de la manière suivante de l'énorme différence de potentiel qui peut être mis en jeu au moment de l'ouverture du circuit d'une bobine douée d'une grande self.

Au moment où l'on ferme le circuit la quantité d'électricité q emmagasinée pendant la période variable, celle employée à créer le champ magnétique, a pour mesure le produit de l'intensité définitive $\frac{E}{R}$ (E étant la différence de potentiel aux bornes avant la fermeture, et R étant la résistance ohmmique de la bobine), par un temps ; le temps mesuré par la constante de temps $\frac{L}{R}$,

$$q = \frac{E}{R} \times \frac{L}{R} = \frac{EL}{R^2}$$

et le travail :

$$W = \frac{1}{2} E \frac{EL}{R^2} = \frac{1}{2} \frac{E^2 L}{R^2}$$

ou encore :

$$= \frac{1}{2} I^2 L. \qquad (b)$$

A la rupture, la résistance va s'élever brusquement, du fait de la rupture elle-même et de l'adjonction d'un intervalle d'air à la résistance du circuit. Mais le travail reste le même.

On aura donc R' cette nouvelle résistance $> R$,

L ne change pas;

onc E', la nouvelle différence de potentiel, devra différer de E, et l'on a :

$$W = \frac{1}{2} \frac{E^2 L}{R^2} = \frac{1}{2} \frac{E'^2 L}{R'^2}$$

d'où :

$$\frac{E}{R} = \frac{E'}{R'}.$$

E' devra varier comme R'.

Or, comme R', résistance d'un intervalle d'air peut être des milliers de fois plus grand que R, E' pourra aussi être des milliers de fois plus élevé que E.

Quant aux forces électromotrices qui naissent dans le circuit secondaire, nous savons que, par analogie, elles sont proportionnelles aussi à la variation du courant inducteur par rapport au temps multiplié par un coefficient M, qui est le *coefficient d'induction mutuelle* des deux circuits.

On a donc en appelant E la force électromotrice induite dans le secondaire :

$$E = -M \frac{dI}{dt}.$$

Nous savons, d'autre part, que *le coefficient de transformation* d'un transformateur dont les circuits secondaires et primaires sont enroulés sur le même noyau de fer et *à égale distance de ce noyau* est égal à :

$$\frac{N}{n},$$

N étant le nombre de spires du circuit secondaire, n étant le nombre de spires du circuit primaire. Or, bien que la bobine d'induction ne remplisse pas absolument les conditions formulées plus haut, on peut cependant écrire par approximation :

$$\frac{E}{\sigma} = \frac{M}{L} = \frac{N}{n}$$

et conclure que *les forces électromotrices dans le secondaire et dans le primaire sont sensiblement dans le même rapport que les nombres de tours de fil des circuits dans lesquels elles prennent naissance.*

L'ensemble des forces électromotrices qui se développent pendant une période complète est représenté par la figure 104.

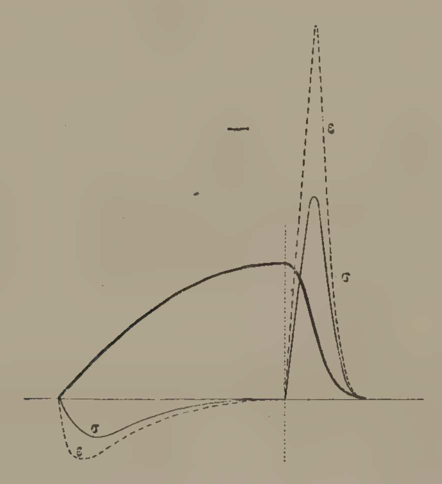


Fig. 104. — Ensemble des forces électromotrices qui se développent pendant une période complète de l'interrupteur. Les forces électromotrices sont portées en ordonnées, les temps en abscisses. La grosse ligne noire représente la variation de la force électromotrice de la source ; les demi-périodes d'ouverture et de fermeture sont séparées par la ligne en pointillé représentant l'axe des forces électromotrices. La ligne fine et pleine σ représente la variation de la force électromotrice dans le primaire. La ligne à traits ε représente la variation de la force électromotrice dans le secondaire. La bobine est supposée n'avoir pas de condensateur (à cause des difficultés matérielles, les proportions ne sont pas observées).

Production d'étincelles par les bobines. — Lorsqu'une bobine produit des décharges sous forme de longues étincelles blanches et grêles, elle n'est pas dans les mêmes conditions où elle se trouve au moment des opérations radioscopiques ou radiographiques. Aujourd'hui les tubes ayant plus de 10 à 12 centimètres d'étincelle équivalente sont rarement employés, et il semble inutile à priori d'avoir des bobines donnant une étincelle de 40, 50, 60 centimètres et même plus. Cette déduction n'est vraie que jusqu'à un certain point. Si, en effet, sans rien changer à la construction d'une bobine, on diminue son coefficient de transformation, en prenant par exemple pour le circuit secondaire un fil plus gros et par conséquent plus court que celui enroulé d'ordinaire pour ce modèle, on trouve que cette bobine qui fournit 20 centimètres d'étincelle à l'air libre et qui donne une décharge sous forme d'arc (chenille) à partir de 8 centimètres alimente beaucoup moins bien un tube de Crookes qu'une bobine semblable construite suivant les principes courants et donnant 45 centimètres d'étincelle. Les remarques suivantes tirées des travaux de M. Abraham permettent d'expliquer le fait.

Si l'on représente la force électromotrice dans le secondaire par la courbe des figures ci-dessous (fig. 105), on voit que pour une longueur d'étincelle très grande la décharge n'aura lieu que lorsque la force électro-

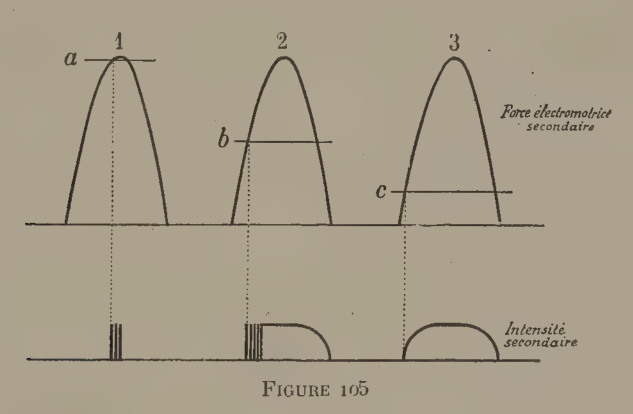


FIGURE 105

motrice dans le secondaire aura atteint la valeur a (courbe 1). Ce sera donc pendant un instant très court ; la quantité d'électricité mise en jeu sera donc fort petite et les étincelles produites seront des étincelles blanches ayant tous les caractères des étincelles de haute fréquence. Si la distance explosive est diminuée, c'est au niveau b de la force électromotrice (courbe 2) que les étincelles commenceront à jaillir ; elles échauffent l'air, dont la résistance diminue, et la gerbe d'étincelles se transforme en un arc qui passe à la fin de la décharge sans difficulté. Enfin, si la distance explosive diminue encore, le niveau c de la force électromotrice secondaire est suffisant et l'arc jaillit dès le début jusqu'à la fin de la décharge.

Ce qui se passe dans l'excitation des tubes à rayons X est l'analogue de ce qui vient d'être énoncé, et l'on comprend qu'une bobine dont le sommet

de la courbe de la force électromotrice viendrait affleurer en c, ou même en b, produirait des résultats inférieurs au point de vue radiographique ou radioscopique.

Influence du condensateur sur la force électromotrice secondaire produite. — L'influence du condensateur sur le fonctionnement de la bobine a été surtout étudié par MM. Mizuno et Armagnat ; nous empruntons beaucoup dans ce qui va suivre aux travaux récents de M. Armagnat (1).

La figure 106 représente ce qui se passe dans le circuit primaire, lorsque

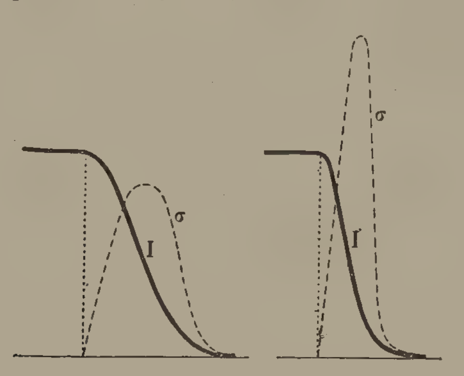


Fig. 106. — Rupture du circuit sans condensateur.

ce circuit est rompu et qu'il n'existe pas de condensateur en dérivation sur l'interrupteur (fig. 107).

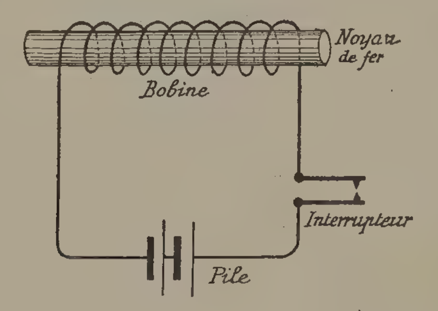


Fig. 107. — Bobine sans condensateur.

On voit que la force électromotrice, ε, qui naît dans le primaire, c'est-à-dire la force électromotrice de l'extra-courant de rupture, est en raison inverse de la durée de l'état variable, les autres circonstances étant identiques. On voit de plus qu'il n'existe aucune oscillation dans la ligne qui représente la variation de l'intensité du courant primaire.

Plaçons maintenant un condensateur en dérivation sur l'interrupteur (fig. 108). Au moment de la fermeture, le condensateur étant en court-circuit ne modifiera en rien la courbe d'établissement du courant primaire. Mais, à

(1) *Loc. cit.*

la rupture, la quantité d'énergie potentielle $\frac{1}{2}$ I^2L (Voir note de la page 177, formule *b*) nécessaire à la création du champ magnétique va devenir libre avec la disparition du même champ ; elle va s'accumuler dans le condensateur et élever la différence de potentiel des deux armatures. Cette différence de potentiel croissant va triompher bientôt de la force électromotrice de self-induction existant dans le primaire, et le condensateur pourra se déchar-

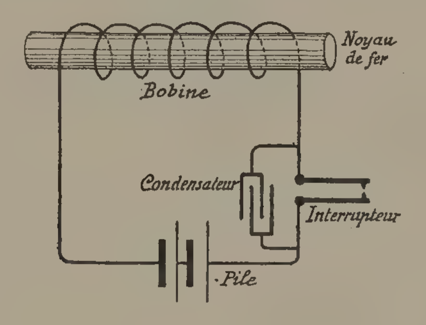


FIGURE 108.

ger dans ce circuit. Il y aura création d'une nouvelle force électromotrice de self-induction, et ainsi de suite, les mêmes phénomènes se reproduisant tant que le système renfermera de l'énergie. Des oscillations naîtront dans le circuit primaire. Selon la grandeur de la résistance et de la self-induction, ces oscillations seront plus ou moins vite amorties I et II (fig. 109), ou même il ne s'en produira pas du tout, si la self est suffisamment petite et la résis-

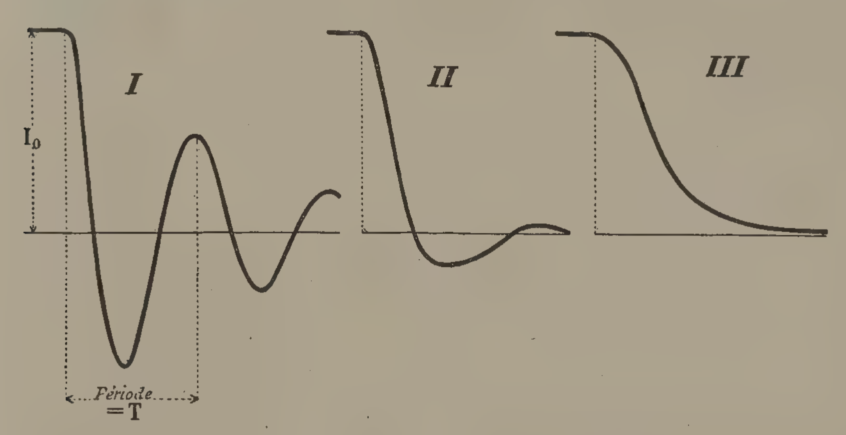


FIG. 109. — Rupture du circuit avec condensateur.

tance du circuit considérable, III. Ce cas ne se présente jamais dans les bobines utilisées en radiographie ; on obtient au contraire des oscillations très faiblement amorties.

Comme on le voit (fig. 109, I) ces oscillations du courant inducteur sont iso-

chrones ; leur durée est fonction de la capacité du condensateur et de la self-induction. Cette durée a pour valeur l'expression :

$$T = 2\pi\sqrt{CL}$$

et est, d'après M. Armagnat, de l'ordre du millième de seconde dans les bobines d'induction de moyenne grandeur.

Quant à la force électromotrice secondaire, elle est forcément, elle aussi, oscillatoire, et l'on peut la représenter par la courbe ε (fig. 110).

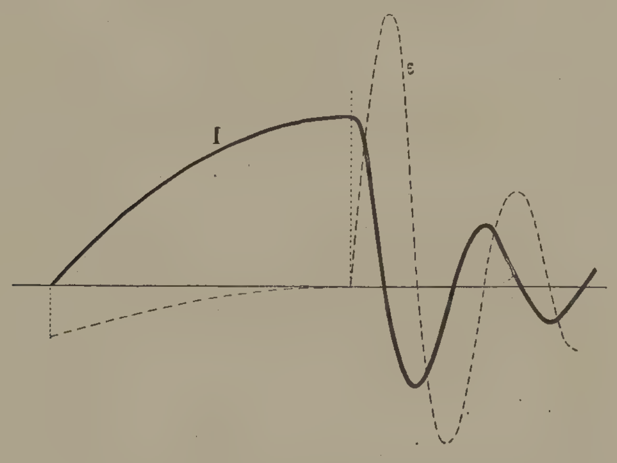


Fig. 110. — Bobine avec circuit secondaire fermé, avec condensateur.

Avec un condensateur, on remarque très facilement que les oscillations du courant primaire sont plus courtes quand le secondaire est fermé en court-circuit. C'est qu'en effet, le courant induit réagit à son tour sur le courant inducteur et produit une diminution *apparente* de la self-induction de ce dernier (Armagnat).

Mais le cas le plus fréquent et de beaucoup le plus intéressant pour nous est celui dans lequel le secondaire, loin d'être fermé en court-circuit est employé à donner des décharges disruptives soit dans l'air, soit dans les gaz raréfiés et particulièrement à travers un tube de Crookes. C'est le cas le moins simple. La capacité et la self-induction du circuit interviennent dans ce cas, et comme la force électromotrice dans le secondaire est, comme la force électromotrice dans le primaire, en raison inverse de la capacité du condensateur (1), il semble qu'il faudrait réduire autant que possible la capacité du condensateur pour obtenir des distances explosives aussi grandes que possible. Cette déduction est contraire à l'expérience. L'on trouve en effet que pour une bobine donnée et pour chaque intensité du primaire, il

(1) La valeur max. de la force électromotrice de self-induction est donnée par l'expression $\sigma = I\sqrt{\frac{L}{C}}$.

y a une capacité optima du condensateur qui permet d'obtenir les plus grandes étincelles. D'où l'avantage à avoir un condensateur réglable sur les bobines devant être utilisées pour produire des décharges disruptives. C'est le cas pour les bobines employées en radiographie. (Voir. pour l'influence du condensateur sur le fonctionnement pratique de la bobine, p. 210.)

Quantités d'électricité mises en jeu dans les courants induits. — Nous avons vu (p. 177, note) que la quantité d'électricité mise en jeu par l'induction dans le primaire, tant à la fermeture qu'à la rupture du circuit, a pour expression :

$$q = \frac{LI}{R^2},$$

L étant le coefficient de self-induction du circuit ; I, l'intensité maxima que peut donner au courant la force électromotrice de la source dans la résistance R.

On voit par cette expression, ne contenant que des quantités constantes pour une bobine donnée, que les *quantités d'électricité* mises en jeu dans les deux extra-courants de rupture et de fermeture *ont même valeur.*

De même, si l'on appelle q' la quantité d'électricité développée dans le circuit secondaire, M étant le coefficient d'induction mutuelle, R' la résistance du circuit, on a :

$$q' = \frac{MI}{R'^2},$$

I étant toujours l'intensité maxima du courant fourni par la source. Ici encore, on voit que, pour la même raison, les quantités d'électricité mises en jeu par l'induction dans le circuit secondaire ont même valeur.

Il faut de plus remarquer que ces quantités d'électricité mises en jeu sont indépendantes du temps que dure chaque courant induit. De la relation classique $q = It$ et des conclusions qui précèdent, on pourra donc déduire la valeur de l'intensité moyenne des divers courants. On trouvera encore là l'explication de la grande intensité de l'extra-courant de rupture.

CHAPITRE II

INTERRUPTEURS

Un bon interrupteur est l'auxiliaire indispensable de la bobine Ruhmkorff. A mesure que l'on a demandé davantage à la bobine, depuis que son emploi s'est tant répandu après la découverte de Röntgen, les interrupteurs ont dû répondre à des besoins nouveaux et à l'emploi de puissances électriques plus élevées.

On peut diviser les interrupteurs en général en deux grandes catégories :

1° Les interrupteurs métalliques, dans lesquels la rupture et la fermeture du courant s'opèrent entre deux pièces de métal ;

2° Les interrupteurs électrolytiques dans lesquels un électrolyte intervient comme l'un des conducteurs au moins, et au niveau duquel s'effectuent les ruptures et les fermetures du circuit.

Les interrupteurs métalliques se divisent eux-mêmes en : 1° *interrupteurs métalliques solides* et 2° en *interrupteurs à mercure.* Parmi les interrupteurs à mercure, quelques-uns sont *à tige oscillante*, du genre de celui établi par Foucault, d'autres sont *commandés par un moteur rotatif ;* une troisième catégorie, enfin, utilise *un jet de mercure* provenant d'une *turbine* pour établir ou rompre le contact.

Dans l'impossibilité de décrire tous les interrupteurs utilisés en radiographie ou en radioscopie, nous ne décrirons ici que les modèles les plus usuels.

PREMIÈRE SECTION. — INTERRUPTEURS MÉTALLIQUES

§ 1. — **Interrupteurs métalliques à marteau ou à trembleur.**

Les interrupteurs métalliques dits *à marteau ou à trembleur*, connus en Allemagne sous le nom d'interrupteurs de Wagner ou d'interrupteurs de Neeff, ne sont plus guère utilisés pour les grandes bobines de Ruhmkorff

destinées à l'excitation des tubes de Crookes. Nous les retrouvons cependant chez quelques constructeurs. Citons parmi les plus répandus :

Interrupteur pour grande bobine d'induction de M. Radiguet. — Il est mû, comme les anciens trembleurs de Neeff, par l'attraction d'un électro dans lequel le courant est rompu et rétabli en même temps que dans le circuit secondaire de la bobine. Cet électro peut s'élever ou s'abaisser et l'on peut faire varier ainsi à volonté la course de l'armature et par suite la durée du mouvement de la tige qui établit le contact. Ce contact est

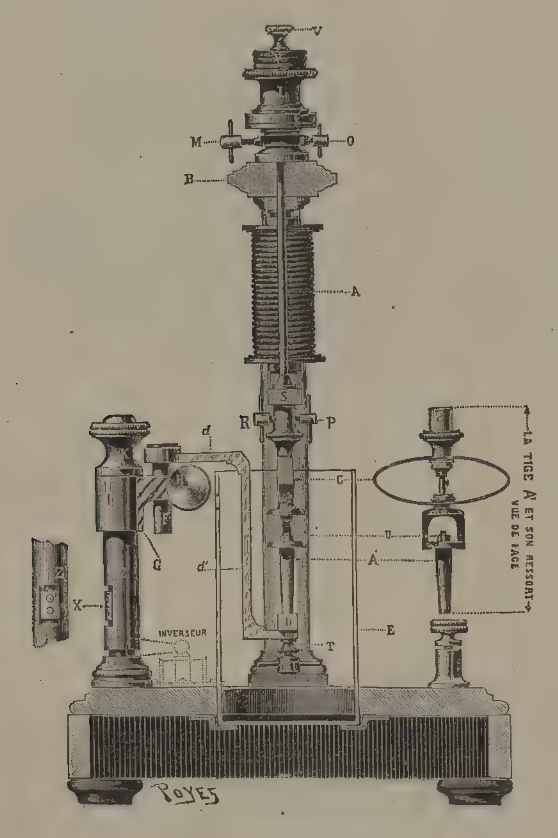


Fig. 111. — Interrupteur pour grande bobine d'induction de M. Radiguet, vu en coupe.

l'une des particularités du trembleur de M. Radiguet ; il s'établit entre deux grosses tiges de cuivre, dont l'une, fixe, sert d'enclume, tandis que l'autre tient à l'armature et agit comme un pilon sur la première. Afin que le contact soit aussi long que possible et que la rupture soit cependant très brusque, des ressorts en arc double sont interposés entre cette armature et la masse de cuivre qui fait marteau. Le tout est plongé dans un godet de grande capacité, rempli de pétrole ordinaire. Cet interrupteur est peut-être un peu bruyant, mais fonctionne très bien.

Le trembleur d'Arsonval-Gaiffe est du genre Neeff, dans lequel on a rendu un des contacts mobile pour éviter les collages entre les deux

platines. Pour cela, le platine du trembleur restant dans sa forme ordinaire, le platine de la vis de réglage est monté sur un axe qui tourne entraîné par un moteur électrique. Le diamètre de ce platine est double de celui du trembleur. Leurs positions respectives sont telles que le plus petit est

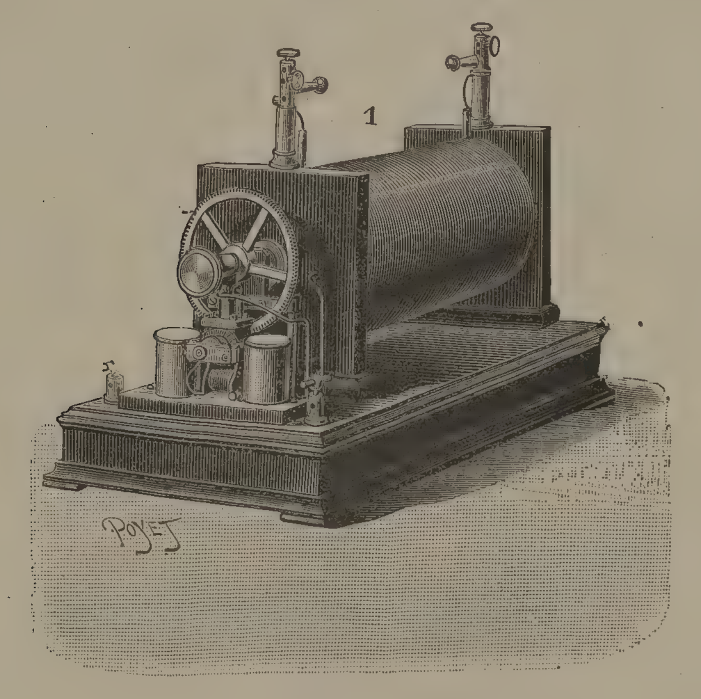


Fig. 112. — Interrupteur d'Arsonval-Gaiffe.

excentré par rapport au plus grand ; il s'ensuit que la surface en contact se renouvelle continuellement et que les collages sont détruits par la rotation.

§ 2. — Interrupteurs à mercure genre Foucault.

L'interrupteur à mercure de Villard a été construit par M. Chabaud sous trois formes différentes. Le petit modèle, donnant 20 à 22 interrup-

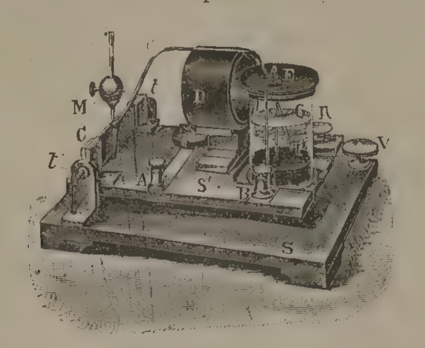


Fig. 113. — Interrupteur de Villard, petit modèle. — C, tige vibrante entre les mâchoires de l'aimant D. — C, lame faisant ressort. — M, masse auxiliaire.

tions par seconde, met en jeu l'action électro-dynamique d'un aimant sur un conducteur parcouru par un courant. Le conducteur parcouru par le courant est une tige vibrante venant faire contact par son extrémité dans un godet à mercure et passant en son milieu entre les mâchoires polaires d'un aimant permanent. Le champ magnétique étant très concentré, l'action électro-dynamique est intense, et la tige continue à osciller lorsqu'on lui a imprimé un premier mouvement. Une masse auxiliaire sert au besoin à réduire la fréquence comme dans l'interrupteur de Foucault (fig. 113).

Dans l'interrupteur grand modèle de Villard, construit par M. Chabaud,

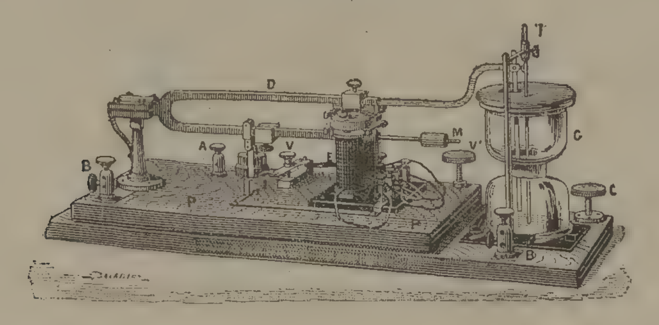


Fig. 114. — Interrupteur de Villard, grand modèle.

la disposition générale de l'appareil est la même que pour le précédent, mais la lame vibrante est remplacée par un diapason donnant 40 à 45 vibrations doubles par seconde. La mise en marche ne pouvant se faire à la main se fait par une manette spéciale disposée à cet effet et qui sert en même temps de commutateur (fig. 114).

Dans l'interrupteur redresseur de Villard pour courants alternatifs, cons-

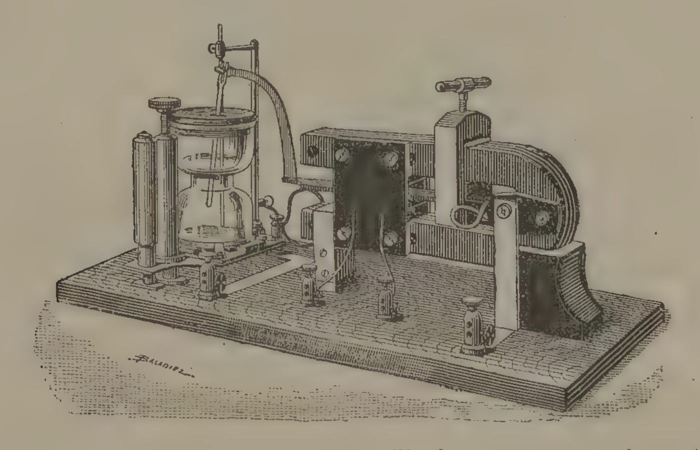


Fig. 115. — Interrupteur redresseur de Villard, pour courants alternatifs.

truit par Chabaud, entre les branches d'un puissant aimant (fig. 115) oscille une lame vibrante terminée par une tige de contact plongeant dans un bain de mercure recouvert d'alcool. Au moyen d'une bobine de décalage (fig. 116) dont

on fait varier la self, on obtient ce résultat que l'interruption se produit toujours au moment où le courant qui traverse la bobine est à son maximum d'intensité et sur toutes les alternances de même sens : c'est comme si la bobine était alimentée avec des courants continus. Le réglage une fois fait

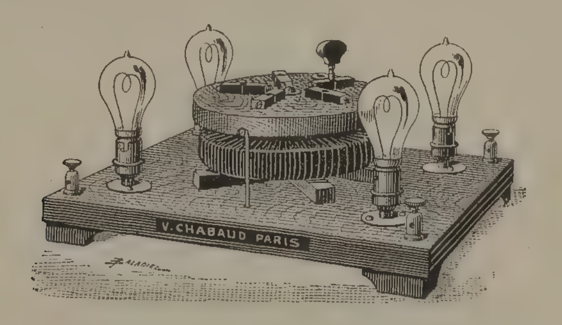


Fig. 116. — Bobine de self de l'interrupteur redresseur Villard.

pour une fréquence donnée de courants alternatifs on n'a plus à y toucher. On ne peut faire varier, il est vrai, le nombre d'interruptions par seconde, qui ne dépend que de la fréquence du courant de l'usine, mais cette fréquence est toujours suffisante (40 par seconde au minimum) pour permettre de bonnes observations radioscopiques (1).

L'interrupteur de M. Rochefort, qu'il appelle *interrupteur oscillant à mouvement rectiligne par guide liquide*, est un interrupteur à mercure

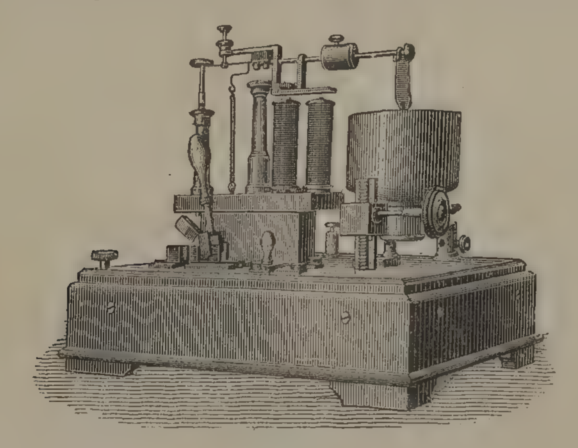


Fig. 117. — Interrupteur de M. Rochefort.

genre Foucault. Comme dans celui-ci, le moteur est un électro vertical qui donne un mouvement oscillatoire à un levier horizontal portant l'armature. La partie neuve et originale de cet interrupteur est la manière dont le

(1) Voir, pour plus amples détails sur cet appareil, le travail de M. Guilleminot : de l'emploi de l'interrupteur redresseur Villard pour la production des rayons X, *Arch. d'élect. méd.*, mai 1502, p. 287.

mouvement circulaire de la tige plongeante est rendu rectiligne. M. Rochefort est arrivé à ce résultat en rendant le haut de cette tige très flexible par un amincissement approprié dans le plan perpendiculaire au plan de flexion. L'inertie du liquide maintient alors la tige dans le même plan vertical, et le mouvement de pelle, qui fait d'ordinaire sauter les liquides (mercure et isolant), est ainsi radicalement évité. Ce qui le prouve, ce sont les ondes liquides qui se forment à la surface de l'isolant et qui toutes sont absolument concentriques. L'interrupteur de M. Rochefort peut donner jusqu'à 35 oscillations par seconde. Sa vitesse est réglable au moyen d'une masse mobile, et sa consommation de courant est très faible.

§ 3. — Interrupteurs à mercure à moteur.

Interrupteurs Ducretet. — Les interrupteurs pour grandes bobines de Ruhmkorff, construits par M. E. Ducretet, sont de plusieurs types. Le

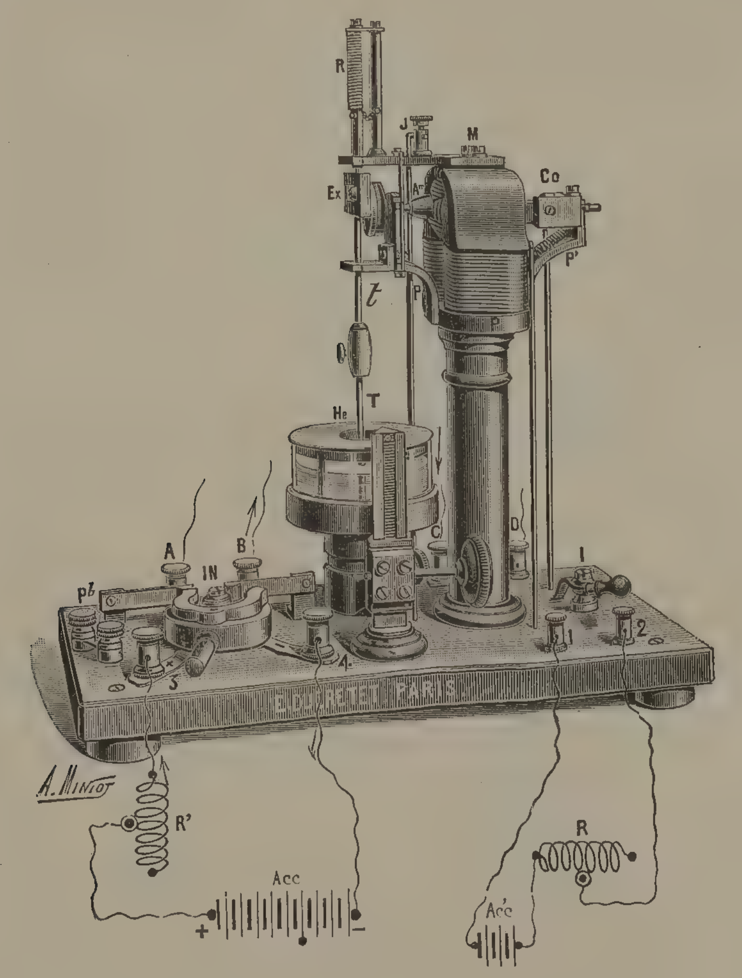


Fig. 118. — Interrupteur à mercure et moteur de M. Ducretet.

premier type très répandu est un interrupteur à moteur (fig. 118) dans lequel le moteur, à 4 bobines induites, est monté sur colonne métallique et commande, par l'intermédiaire d'un excentrique, un système mécanique transformant le mouvement de rotation en un mouvement alternatif de va-et-vient. L'interruption se produit entre une tige de cuivre et un large bain de mercure recouvert de pétrole. L'arrivée du courant, dans le dernier modèle de cet interrupteur, est obtenue par un deuxième godet, à petite section, contenant du mercure dans lequel plonge une tige mobile. Le socle de cet interrupteur est en ardoise et porte un inverseur du courant principal et un coupe-circuit pour le courant du moteur : ce dernier courant pouvant être pris en dérivation sur le premier.

M. Ducretet construit aussi un interrupteur à disques rotatifs, utilisés surtout pour les grandes bobines donnant 50 centimètres d'étincelle et plus. Cet interrupteur est formé de deux disques métalliques plongeant chacun dans un large godet à mercure ; l'un des disques est plein ; c'est lui qui amène le courant ; l'autre disque est étoilé ; c'est sur chacune des branches de ses étoiles que l'interruption se produit. D'ailleurs, on peut régler la plongée du disque étoilé dans le mercure. Un arbre commun fait tourner ses deux disques et est relié à un petit moteur électrique à vitesse variable. Les interruptions du courant avec cet appareil peuvent être très rapides tout en assurant une certaine durée du contact du disque étoilé avec le mercure du godet. Le tout plonge dans un liquide isolant, du pétrole par exemple, et est robustement construit.

L'interrupteur de M. Max Kohl (**de Chemnitz**) est un modèle à mercure et à plongeur mû par un moteur électrique. Il présente

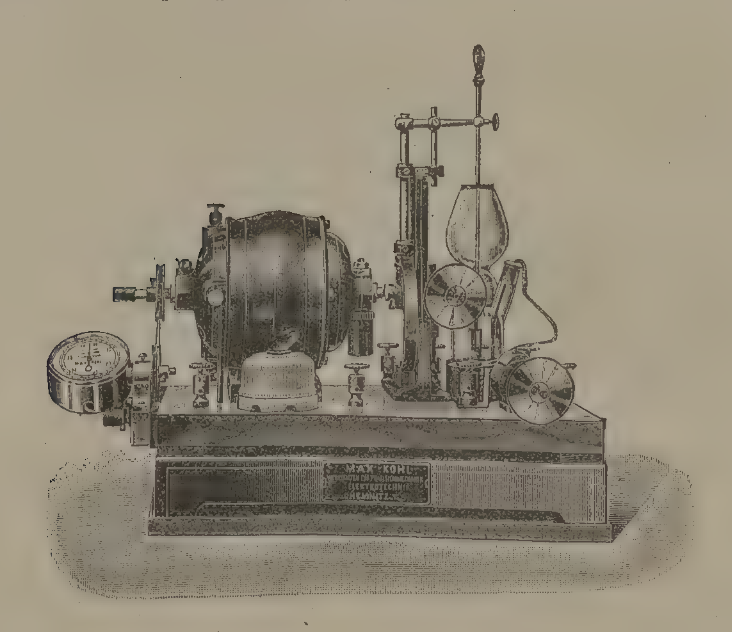


Fig. 119. — Interrupteur Max Kohl.

ceci de particulier que, tandis que l'une des extrémités de l'axe du moteur électrique est reliée avec la partie mécanique transformant le mouvement de rotation en un mouvement vertical de va-et-vient, l'autre extrémité de ce même axe entraîne un tachymètre donnant à chaque instant la vitesse du moteur en tours par seconde et, par conséquent, le nombre d'interruptions (fig. 119).

L'interrupteur de M. Gaiffe consiste en un moteur électrique entraînant par une came un support guidé par des glissières et lui faisant parcourir verticalement 15 millimètres environ à une vitesse variable de 10 à 50 périodes par seconde. Ce support reçoit un cavalier en cuivre rouge qui plonge dans deux godets à mercure. L'un de ces godets sert simplement à amener le courant au cavalier de façon à éviter les contacts par flexion ; dans l'autre godet se fait l'interruption sous pétrole. Ce dernier godet est réglable de façon à faire varier la plongée du cavalier suivant la vitesse de la source.

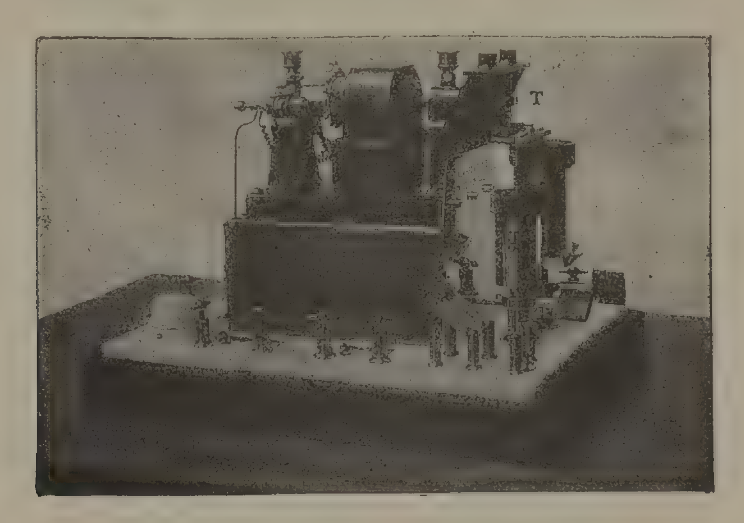


Fig. 120. — Interrupteur Gaiffe.

Un dispositif à chambre à air empêche le pétrole d'être projeté par les étincelles de rupture.

Le même appareil avec deux systèmes semblables aux deux extrémités de l'arbre du moteur calés à 180° permet de doubler le nombre des interruptions pour la même vitesse du moteur.

L'interrupteur Lacroix-Bergonié (fig. 121 et 122) présente comme particularité d'être assez simple pour être facilement et rapidement construit dans un laboratoire. Toute la partie animée d'un mouvement alternatif est si réduite comme poids et si bien guidée qu'elle peut être animée des plus grandes vitesses, sans qu'il en résulte aucune vibration anormale des pièces mobiles. A l'extrémité de l'axe d'un moteur électrique de faible puissance est placé un disque portant sur sa face libre une goupille légère, qui peut être plus ou moins excentrée. Le diamètre de cette excentration règle la longueur de la

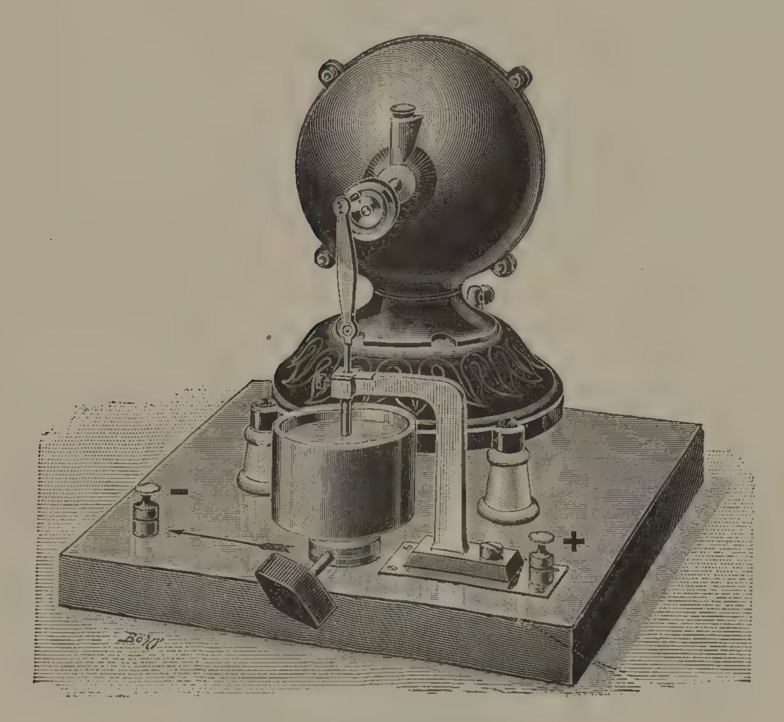


FIG. 121. — Interrupteur Lacroix-Bergonié.

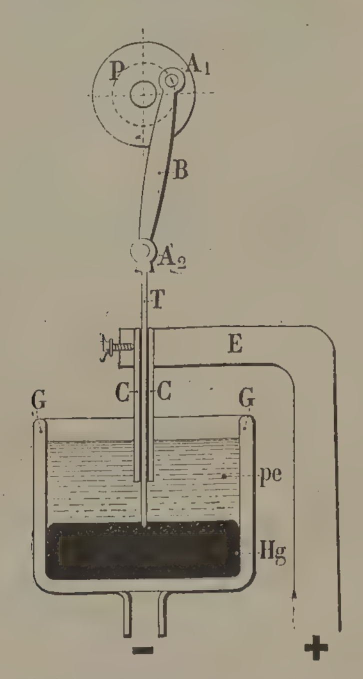


FIG. 122. — Schéma de l'interrupteur Lacroix-Bergonié.

P, poulie du moteur. — A_1, articulation de la bielle avec la goupille excentrée portée par la poulie. — B, bielle légère en corne, ivoire ou bois. — A_2, articulation de la bielle avec la tige métallique. — T, tige de cuivre animée d'un mouvement de va-et-vient. — CC, gaine métallique dans laquelle coulisse la tige de cuivre avec savis de fixation. — E, son équerre de soutien et d'amenée du courant. — G, godet de mercure pouvant s'élever ou s'abaisser. — *pe*, pétrole. — Hg, mercure.

course de la tige plongeante de l'interrupteur. Cette tige, faite d'un simple fil de cuivre de 4 centimètres de longueur et de 3 millimètres de diamètre, est reliée à la goupille du disque par une bielle mince et légère en bois ou en corne et guidée dans son mouvement de plongée, sur les 4/5 de sa longueur, par un tube de cuivre amalgamé fixe qui amène le courant à la tige plongeante. Le godet métallique contenant le mercure et le pétrole peut être facilement élevé ou abaissé et fixé en position convenable. Quelle que soit la vitesse du moteur, cet interrupteur reste silencieux et ne se détraque pas, même par un long usage.

§ 4. — Interrupteurs à mercure à turbine.

Les interrupteurs dans lesquels le contact s'effectue par un jet de mercure sont très employés en Allemagne. Les avantages que l'on peut reconnaître à ce genre d'appareils sont les suivants : au point de vue mécanique, utilisation directe du mouvement de rotation des moteurs électriques, marche silencieuse, impossibilité de mettre par erreur le primaire de la bobine en court-circuit, car le courant ne peut passer que si l'interrupteur fonctionne ; enfin, variation dans de grandes limites du nombre des interruptions, et variation indépendante de la période de fermeture du courant.

L'interrupteur du Dr Max Lévy à filet de mercure se compose d'une couronne dentée cylindrique en cuivre, contre les dents de laquelle le

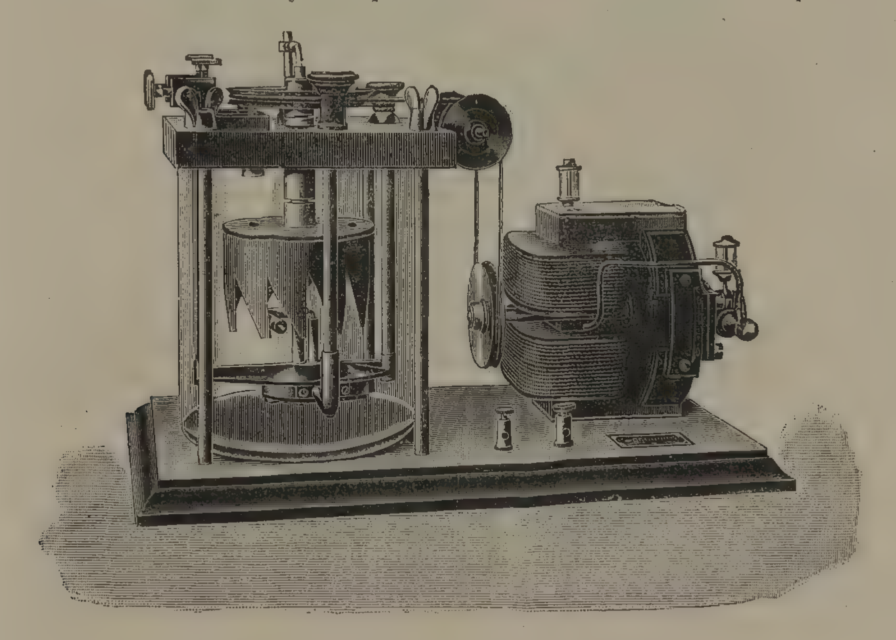


Fig. 123. — Interrupteur à jet de mercure du docteur Max Lévy.

filet de mercure vient buter. Ce filet de mercure fixe dans l'espace est produit par une pompe à augets tournant avec la couronne cylindrique, sur le même

axe, relié par une poulie et une courroie à un moteur électrique placé sur le même socle. Le mercure vient buter alternativement sur les dents métalliques et passer par les fenêtres de la couronne cylindrique, d'où fermeture et ouverture successives du courant.

L'interrupteur permet en cours de marche d'augmenter ou de diminuer, suivant les besoins, la durée des fermetures du courant en élevant ou abaissant la couronne dentée par rapport au filet de mercure ; on peut aussi varier le nombre des contacts dans l'unité de temps, soit en faisant tourner plus vite la couronne cylindrique, soit en la changeant pour une autre à dents plus ou moins nombreuses. Le vase de verre qui contient tout l'instrument est rempli de pétrole, et le nettoyage de l'appareil est facile.

L'interrupteur de l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft est l'un des plus anciens parmi ces appareils et aussi l'un des plus robustes. Il

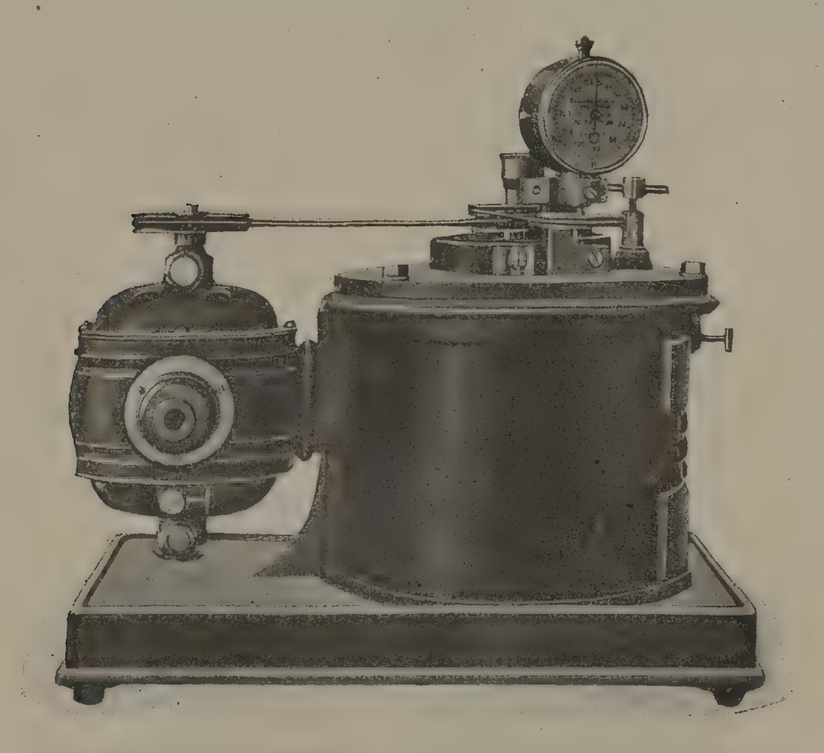


Fig. 124. — Interrupteur-turbine de l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft.

se compose d'un socle de fonte sur lequel sont fixés : un moteur électrique à axe vertical et l'interrupteur-turbine proprement dit, à axe également vertical, les deux étant réunis par une courroie. Dans l'intérieur on trouve une pompe à force centrifuge prenant le mercure au fond du vase de fonte et le projetant par un orifice périphérique sur un cylindre fixe à dents placé sur le même niveau. Le cylindre peut être changé de manière à avoir un nombre d'interruptions variable par tour du moteur. Certains disques sont à 12 dents,

et d'autres à deux ; d'après le constructeur, on peut varier le nombre des interruptions de 10 à 1.000 par seconde. L'appareil est rempli d'alcool ou de pétrole, et c'est dans ce diélectrique que s'effectuent les interruptions.

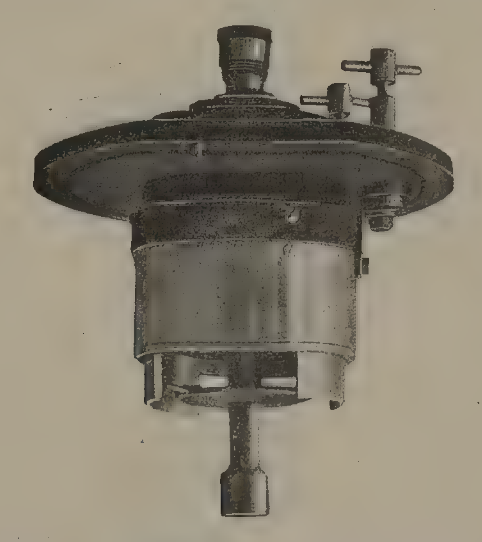


FIG. 125. — Interrupteur-turbine de l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft. (Cylindre fixe à dents et disque à jet de mercure rotatif.)

Plusieurs modèles de cet appareil ont été construits, dont un pour courant alternatif avec moteur synchrone qui peut interrompre le courant alternatif toujours au sommet d'un même système d'ondes et par conséquent alimenter une bobine comme si le courant était continu.

Interrupteur à jet de mercure de M. Hirschmann. — Il se compose d'un axe renflé à sa partie inférieure de manière à former une

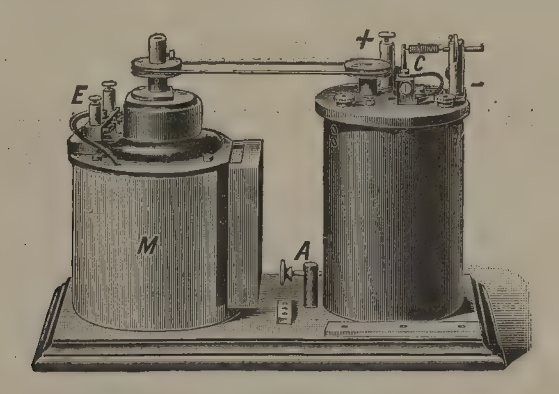


FIG. 126. — Interrupteur de Hirschmann avec son moteur.
M, moteur alimenté en E. — C, interrupteur proprement dit. — A, tension de la courroie.

cavité, dont l'extrémité ouverte plonge dans le mercure d'un récipient complètement clos. Cet axe, entraîné au moyen d'une poulie et d'une courroie

passant sur deux galets de renvoi projette le mercure par un orifice étroit contre une tige de charbon aplatie qui forme l'autre pôle. Le tout est rempli

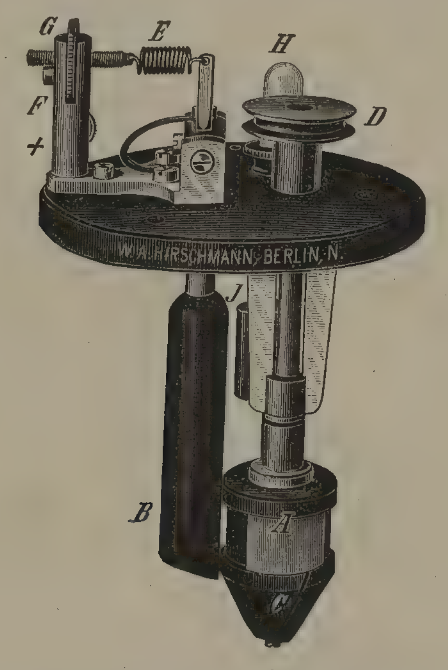


Fig. 127. — Interrupteur de Hirschmann.

A, pompe rotative entraînée par D projetant le mercure sur le cylindre de charbon B. — H, indicateur de niveau du liquide isolant. — EGF, réglage de la distance de B à A. — C, entraînement centrifuge du mercure.

d'un liquide diélectrique, alcool ou pétrole. Le nombre d'interruptions par minute dépend de la vitesse du moteur.

DEUXIÈME SECTION. — INTERRUPTEURS ÉLECTROLYTIQUES

On sait que les interrupteurs électrolytiques, dont le premier modèle a été imaginé par Wehnelt, reposent sur le principe de la production instantanée d'un gaz au sein d'un électrolyte et au point où la densité du courant est maxima. Le gaz produit interrompt le circuit, s'échappe, est remplacé par l'électrolyte qui rétablit la continuité du circuit et ainsi de suite. L'électrolyse n'intervient que secondairement, et c'est à une action calorifique du courant qu'est due son interruption par les gaz formés. Si l'on pouvait avoir un corps simple, bon conducteur liquide, à point d'ébullition pas trop élevé, il conviendrait parfaitement pour le Wehnelt.

Dans les interrupteurs genre Wehnelt le courant est amené dans l'électrolyte par une anode en platine. C'est au niveau de cette anode que la densité du courant est maxima ; c'est donc à son niveau également que se produisent les interruptions.

Dans l'interrupteur électrolytique, appelé interrupteur *Simon* en Allemagne et interrupteur *Caldwell* dans les pays de langue anglaise, la densité maxima du courant se trouve au niveau d'un ou de plusieurs orifices percés dans un vase isolant séparant l'électrolyte en deux masses distinctes. C'est donc au niveau de cet ou de ces orifices que se développent les gaz; c'est à leur niveau également que s'effectue l'interruption du courant.

On connaît les avantages et les inconvénients des interrupteurs électrolytiques. (Voir à ce sujet : influence de l'interrupteur sur le fonctionnement de la bobine, p. 205.) Les avantages sont : 1° la suppression du condensateur de la bobine ; 2° l'augmentation considérable du nombre d'interruptions par seconde ; 3° l'utilisation directe, presque sans rhéostat, des courants de ville ; 4° le bas prix de l'appareil. On utilise le Wehnelt de 20 à 130 volts, le Simon-Caldwell de 110 à 250.

Les inconvénients sont : 1° la dépense considérable d'énergie qu'ils nécessitent, énergie qui, dépensée en pure perte dans l'appareil, produit un échauffement rapidement nuisible à son bon fonctionnement ; 2° le bruit de ronflement et les vapeurs acides dégagées ; 3° l'influence qu'a le régime du courant induit sur le nombre des interruptions de l'interrupteur électrolytique. Par exemple, au cours d'une radiographie ou d'une radioscopie, le tube dont on se sert devient-il mou ou dur, immédiatement le son produit par le Wehnelt ou le Caldwell se modifie, indiquant ainsi que le nombre d'interruptions change.

Les liquides les plus fréquemment employés dans ces appareils sont, ou bien une solution sulfurique vers 23 Baumé, ou une solution à peu près saturée d'alun ordinaire.

Interrupteur de Siemens et Halske, type Wehnelt. — Dans le modèle d'interrupteur de Wehnelt construit par la maison Siemens et Halske, l'électrode positive de petite surface et l'électrode négative sont, comme dans l'interrupteur de Wehnelt modèle du prof. Elihu Thomson, réunies en une seule et même pièce et fixées au couvercle. On n'a plus alors qu'un récipient de verre et un couvercle portant les deux électrodes, dont on coiffe le récipient rempli d'eau acidulée. L'électrode positive, constituée par un fil de platine assez fin, émerge d'un gros crayon de porcelaine, et l'on peut faire varier la longueur utile de cette anode au moyen de la vis molletée du couvercle. Un bec de trop-plein, soudé au crayon de porcelaine, empêche le liquide acide de s'élever vers les parties métalliques, qui seraient attaquées sans cela. C'est là un perfectionnement reconnu aujourd'hui comme indispensable. Cet interrupteur est fait pour des tensions de 40 à 150 volts ; mais c'est à la tension de 110 volts et sur les bobines de la même maison qu'il a donné les meilleurs résultats. Le modèle ci-dessus (fig. 128) est muni de trois crayons avec fils de platine de grosseur variée pour courants de plus en plus forts.

Un autre modèle d'interrupteur de Wehnelt de la maison Siemens et Halske fonctionne sur courant continu ou alternatif de 65 à 150 volts. Il est

surtout remarquable par le dispositif adopté pour éviter un échauffement trop fort pendant le fonctionnement continu de l'interrupteur. Ce dispositif consiste en un serpentin réfrigérant adapté latéralement au vase de plomb qui contient l'acide. Ce vase de plomb, muni de son réfrigérant rempli d'acide sulfu-

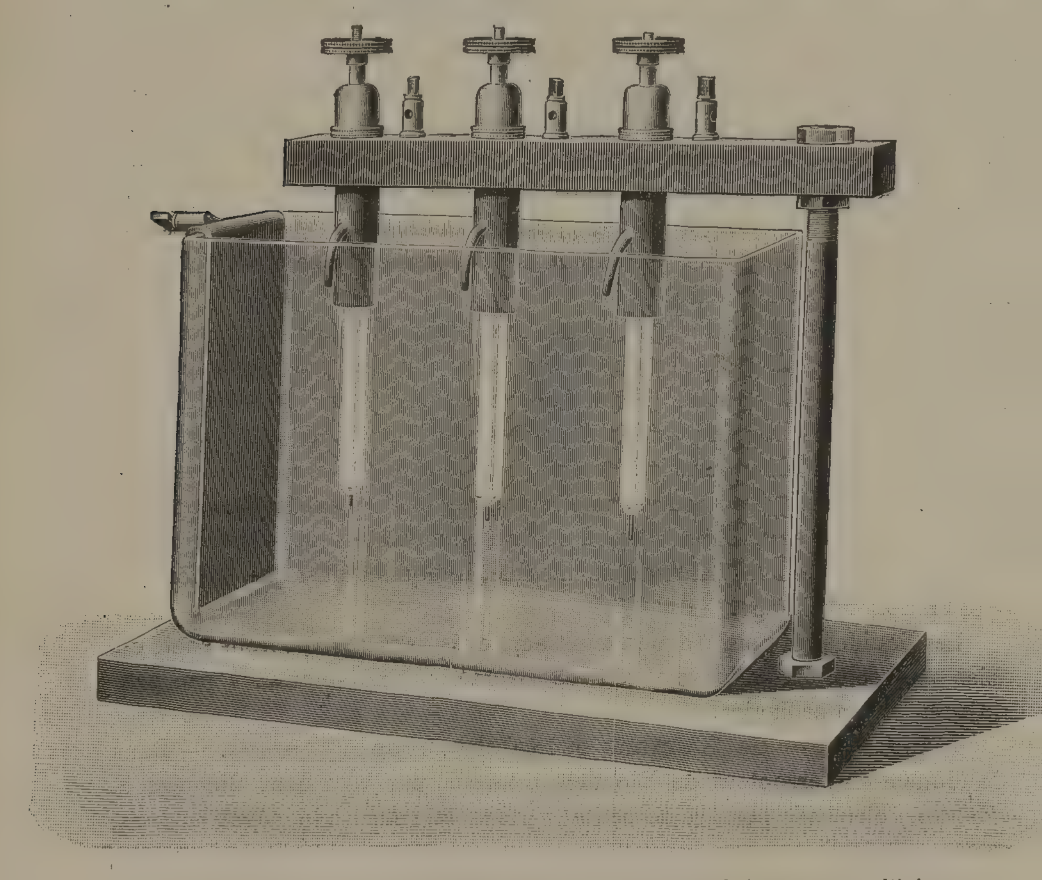


Fig. 128. — Interrupteur Siemens et Halske, type Wehnelt à crayons multiples.

rique dilué, est placé dans une cuve en zinc sur laquelle on ajuste un couvercle portant les électrodes de l'interrupteur. En résumé, grande cuve en zinc dans laquelle circule un courant d'eau froide contenant une petite cuve en plomb, avec réfrigérant en dérivation, dans laquelle sont plongées les électrodes de Wehnelt. Ce procédé de réfrigération paraît très efficace.

Interrupteur de Siemens et Halske, type Caldwell. — Dans le type de l'interrupteur électrolytique, type Caldwell de la maison Siemens et Halske, le vase extérieur est en verre, et une électrode négative en plomb y amène le courant. Dans ce premier vase en est un autre ayant la forme d'une grosse éprouvette de chimiste à fond rond et en porcelaine. Ce fond est percé de 2, 3, 4 petits orifices, ou davantage. C'est à leur niveau que se produit l'interruption. Le haut de l'éprouvette porte une tubulure de trop-plein, afin de déverser dans le vase extérieur le liquide qui tend à s'élever

pendant le fonctionnement de l'interrupteur. C'est dans l'éprouvette en porcelaine qu'arrive la deuxième électrode également en plomb. Les deux électrodes et l'éprouvette en porcelaine sont fixées à un couvercle d'ébonite, qui

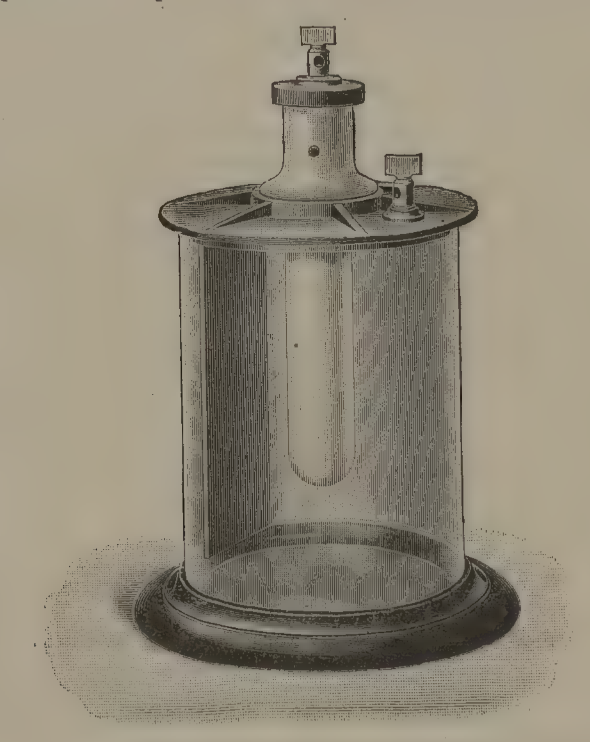


Fig. 129. — Interrupteur Siemens et Halske, type Caldwell.

vient coiffer le vase extérieur. Les orifices percés dans le vase en porcelaine m'ont semblé mieux résister à l'effritement que ceux percés dans une paroi de verre.

Interrupteur Carpentier, type Wehnelt.—Le modèle d'interrupteur de Wehnelt construit par la maison Carpentier, de Paris, a pour caractère particulier de fonctionner sous un voltage relativement faible pour un interrupteur électrolytique (20 à 30 volts) et de fonctionner mieux lorsqu'on élève la température du liquide vers 80° ou 90°. Tandis que tous les autres constructeurs se sont ingéniés à refroidir le liquide du Wehnelt, M. Carpentier demande qu'on le chauffe au contraire, et son appareil est disposé pour en empêcher le refroidissement. Pour cela, autour de la première enveloppe en plomb laminé contenant le liquide acide, en est une seconde en laiton épais, puis une troisième en feutre, et enfin une quatrième en bois d'acajou. Ces deux dernières, destinées à empêcher autant que possible le refroidissement. Quant à l'électrode, elle est constituée par une tige en plomb soudée à son extrémité à un gros fil de platine de 1,5 millimètre de diamètre, faisant plus ou moins saillie hors d'une enveloppe en verre. Cette électrode est réglable par une vis passant à travers le couvercle. On voit encore sur ce couvercle une tige de

thermomètre qui renseigne sur la température du liquide et une tubulure par laquelle les gaz et les vapeurs acides peuvent être amenés dans un vase quelconque contenant un liquide alcalin.

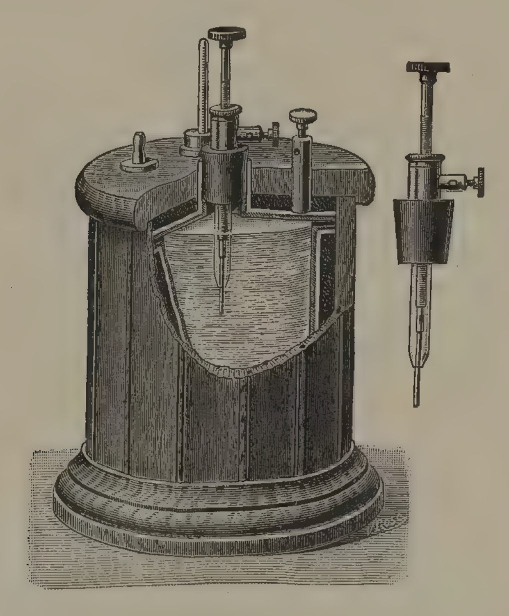


Fig. 130. — Interrupteur Carpentier, type Wehnelt.

Interrupteur Radiguet, type Wehnelt. — L'interrupteur de Wehnelt modèle de la maison Radiguet était composé d'une cuve remplie

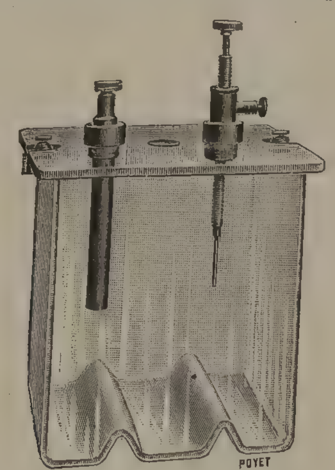


Fig. 131. — Interrupteur Radiguet, type Wehnelt.

d'alun et d'une électrode Carpentier. Ce constructeur emploie également, par économie, des électrodes fixes positives dans lesquelles le fil de platine est soudé à demeure sur le tube de verre.

Interrupteur Ducretet, type Wehnelt. — L'interrupteur électrolytique modèle Wehnelt construit par M. Ducretet est à bec de porcelaine incassable et à vases concentriques. Le charbon, le plomb et le laiton du vase servent d'électrode négative à grande surface. Quant à l'électrode positive, elle est réglable au moyen d'une vis molletée traversant le couvercle. Un orifice percé dans ce même couvercle peut être muni d'un caoutchouc et servir à l'expulsion des gaz.

CHAPITRE III

FONCTIONNEMENT DE LA BOBINE

§ 1. — Influence du voltage de la source.

Nous avons vu, à propos de la détermination de la constante de temps d'un circuit (p. 175) que la courbe d'accroissement de l'intensité dans le circuit primaire était toujours semblable à elle-même, et que, pour arriver à la fraction 0,634 de l'intensité maxima définie par le rapport $\frac{E}{R}$, il fallait toujours le même temps. Or, il est important, en radiographie et en radioscopie, que l'intensité dans le circuit primaire puisse s'élever aussi haut que possible dans un temps aussi court que possible : d'une part, pour que, à la rupture, le rapport $\frac{dI}{dt}$ soit le plus grand possible ; d'autre part, pour que la vitesse de l'interrupteur et, par suite, le *rendement* de la bobine

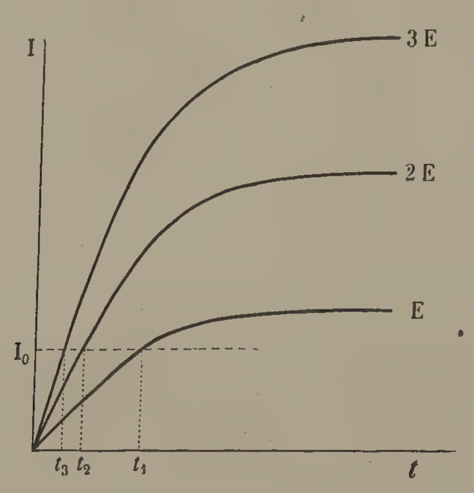


FIG. 132. — Influence de la force électromotrice sur l'établissement du courant.

puissent être accrus. Si donc on augmente la vitesse de l'interrupteur, et qu'on veuille maintenir la même valeur du rapport $\frac{dI}{dt}$, il faudra augmenter proportionnellement le voltage de la source.

Si la constante de temps du circuit $\frac{L}{R}$ est considérable, les forces électromotrices, même les plus élevées, n'arriveront, avec un interrupteur rapide, qu'à amener le courant à une intensité assez faible. La figure 132 indique nettement cette influence de la force électromotrice de la source. Pour atteindre l'intensité I_0, il faut un temps t_1 très long avec le voltage E ; pour un voltage 2E, on atteint la même intensité dans le circuit au bout d'un temps t_2 beaucoup plus court ; avec un voltage 3E, le temps nécessaire t_3 diminue encore, mais d'une quantité assez faible. L'on voit qu'en continuant à faire croître le voltage de la source, le gain sur le temps, pour obtenir l'intensité fixée, devient de plus en plus faible. Donc, à partir d'un certain voltage de la source, il n'y a plus intérêt à augmenter ce voltage pour une bobine dont la constante de temps est donnée et avec une vitesse donnée de l'interrupteur. Réciproquement, pour un voltage donné et une bobine donnée dont la constante de temps ne peut varier, il y a une vitesse optima de l'interrupteur qu'il ne faut pas dépasser, sous peine de voir diminuer la grandeur de la force électromotrice dans le secondaire, c'est-à-dire la longueur des étincelles.

Emploi de très hauts voltages dans l'inducteur des bobines. — On a cependant employé quelquefois des voltages très élevés tels que ceux de 220 volts ou même davantage. Nous ne ferons que signaler ici la solution de la maison américaine de construction Ritchie et Sons, parce qu'elle nous a paru peu connue et intéressante. Ces constructeurs, au moyen d'un commutateur rotatif entraîné par un moteur électrique, relient un condensateur de capacité variable tantôt au circuit de haut voltage et à courant continu à utiliser, tantôt au circuit inducteur de la bobine. C'est, en un mot, l'excitation de la bobine par la décharge d'un condensateur, excitation depuis si longtemps préconisée en électro-physiologie. On comprend d'ailleurs que le voltage employé puisse être très élevé et que, d'autre part, ayant à sa disposition la capacité du condensateur et la vitesse du moteur, c'est-à-dire la vitesse avec laquelle se succèdent les charges et les décharges, on puisse arriver à une régulation parfaite du fonctionnement de la bobine.

Les avantages que les constructeurs réclament pour cette méthode d'excitation de la bobine, qui doit alimenter un tube à rayons X, seraient les suivants : 1° au point de vue économique, toute l'électricité est utilement employée pour produire l'excitation du tube, et la dépense de courant est vraiment bien proportionnelle à la production des rayons X, car il n'y a aucun rhéostat sur le trajet du courant ; 2° la sécurité du fonctionnement de la bobine est absolue, car il ne peut se produire aucun court-circuit dans l'inducteur, qui n'est jamais relié aux fils de haut voltage ; 3° les courants

induits fournis par la bobine ainsi excitée *sont pratiquement toujours de même sens* et le tube ne risque pas d'être inversé. La décharge du condensateur, dans ce cas, se faisant à travers un circuit doué d'une grande self-induction, peut être considérée comme pratiquement amortie.

Au point de vue des résultats obtenus expérimentalement avec cet appareil, les constructeurs en font les plus grands éloges. Les effets en seraient très puissants et l'écran fluoroscopique présenterait un éclairement très intense et parfaitement stable. Quoi qu'il en soit, cette solution de l'excitation de la bobiue à rayons X nous a paru assez intéressante pour la signaler ici.

§ 2. — Influence de l'interrupteur.

Le très grand nombre d'interrupteurs qui viennent d'être décrits peuvent être réduits, au point de vue de leur fonctionnement, à deux sortes : les *interrupteurs mécaniques*, dans lesquels la rupture s'effectue mécaniquement entre deux contacts métalliques, et les *interrupteurs électrolytiques* du genre Caldwell ou Wehnelt. Parmi les premiers, les dispositifs mécaniques si nombreux qui ont été adoptés ont permis de faire varier dans de grandes proportions le nombre des interruptions à la seconde. Ainsi, l'ancien Foucault classique à deux godets et à boule d'inertie réglable permettrait de faire varier ce nombre entre 2 et 10 interruptions à la seconde. L'interrupteur-turbine, qui est cependant un interrupteur à mercure, permet d'amener ce chiffre à 250 au moins ; enfin les interrupteurs à trembleur du genre Neeff peuvent en donner entre 90 pour les petites bobines et 60 pour les plus grosses.

Marche avec interrupteur mécanique. — Lorsqu'un interrupteur mécanique fonctionne, on peut distinguer dans son fonctionnement trois phases distinctes qui se reproduisent constamment semblables à elles-mêmes (fig. 133).

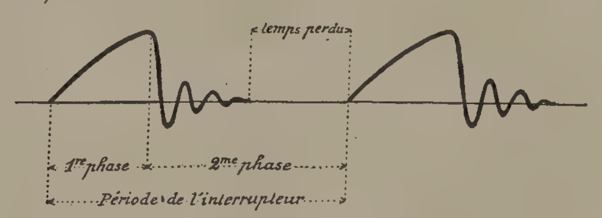


Fig. 133. — Période de l'interrupteur et ses phases.

Première phase : le contact est établi et reste établi pendant un certain temps. C'est la phase pendant laquelle l'intensité du courant inducteur croît suivant la loi plus haut énoncée. Deuxième phase : c'est celle pendant laquelle les deux parties mobiles du circuit s'écartent l'une de l'autre ; le courant est rompu au début de cette phase. Nous savons que, par le fait de

l'extra-courant, la variation de l'intensité dans le primaire prend un caractère oscillatoire. La troisième phase, nommée par M. Armagnat *temps perdu* de l'interrupteur, est comprise entre le temps qui s'écoule depuis l'amortissement des oscillations jusqu'à une nouvelle fermeture. Pendant cette phase ni le courant ni la bobine ne sont utilisés. Il est de toute évidence que l'on a intérêt à réduire autant que possible cette troisième phase. Quant à la première, nous avons vu plus haut que, pour une force électromotrice donnée et une constante de temps donnée, cette phase doit avoir une durée déterminée qu'on ne peut ni réduire ni augmenter : si on la réduit, en effet, l'intensité ne peut parvenir qu'à une fraction trop faible de sa valeur maxima donnée par la loi d'Ohm ; si on l'augmente, au contraire, l'intensité parvenue à sa valeur de régime ou à peu près, ne varie plus sensiblement, un courant constant traverse toute le primaire, y dépensant en effet Joule, c'est-à-dire inutilement, l'énergie de la source.

Marche avec les interrupteurs électrolytiques. — On sait comment est construit l'interrupteur de Wehnelt ; la figure ci-jointe (fig. 134) indique le montage de cet interrupteur. Son fonctionnement peut être

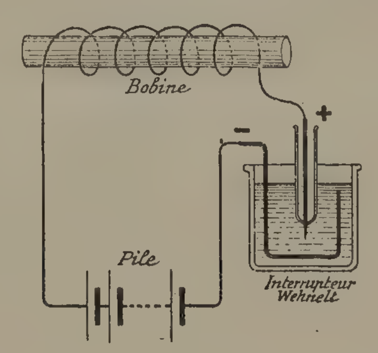


Fig. 134. — Schéma du montage de l'interrupteur Wehnelt.

brièvement décrit de la manière suivante : pratiquement le pôle positif de la batterie aboutit à l'électrode de platine ou *électrode active*. le pôle négatif va à la grande électrode en plomb. Dans ces conditions, si le voltage de la source est faible, l'électrolyse se produit, et le courant est parfaitement continu ou avec des variations très faibles explicables par la formation des bulles d'oxygène sur l'électrode de platine. La bobine n'est pas actionnée et le courant est dépensé en pure perte. Le voltage limite avec lequel les interruptions commencent à se produire est très variable avec la température et la résistance de l'électrolyte. Pour un même électrolyte, l'eau acidulée, M. Armagnat a trouvé qu'à la température de l'ébullition, ce voltage limite pouvait descendre jusqu'à 12 à 20 volts, d'où la construction d'un modèle d'interrupteur électrolytique (modèle Carpentier, voir fig. 130) dans lequel après avoir porté l'électrolyte jusqu'à l'ébullition on l'empêche de se refroidir en l'enveloppant d'une gaine de feutre et d'une boîte en bois. En

dehors de ces conditions particulières, l'interrupteur électrolytique genre Wehnelt ne commence à fonctionner que vers 45 volts. Son fonctionnement est régulier de 50 à 100 volts à peu près, avec les modèles courants; au-dessus de 110 volts, les interruptions sont beaucoup moins régulières. Enfin, si le voltage s'élève encore, la résistance intérieure de l'interrupteur n'étant pas modifiée, l'intensité, au lieu d'augmenter, s'abaisse, les interruptions cessent, l'électrode de platine rougit et peut aller jusqu'à la fusion : c'est le phénomène découvert par Violle et Chassagny.

Entre ces deux phases : silence de l'interrupteur et fusion du platine. Les interruptions peuvent varier de fréquence avec divers éléments. Tout d'abord le voltage aux bornes. En effet, si l'on manœuvre un rhéostat placé en tension dans le circuit avec le Wehnelt, ce qui revient à augmenter ou diminuer le voltage utile aux bornes de l'interrupteur, on voit, en même temps que l'intensité s'accroît, le nombre des interruptions augmenter quand le voltage augmente, et diminuer avec lui. Sur une bobine, le son du Wehnelt monte quand on diminue la résistance du rhéostat ; la hauteur du son diminue, au contraire, lorsque l'on augmente la résistance.

La self-induction du primaire agit également sur la fréquence des interruptions. Avec une très grande self les interruptions sont rares, irrégulières et ressemblent à de véritables explosions ; le nombre des interruptions s'accroît si la self diminue. Pour cette raison, lorsque le circuit secondaire d'une bobine fonctionnant avec le Wehnelt est relié à un tube de Crookes, les moindres variations de résistance de ce tube sont accusées par des variations correspondantes de la hauteur du son rendu par le Wehnelt. Lorsque le tube devient mou, la résistance sur laquelle est fermé le circuit secondaire diminue, la self diminue par réaction du secondaire sur le primaire, et le son du Wehnelt baisse. L'inverse se produit lorsque le tube devient dur.

Lorsqu'on fait varier la surface de l'électrode active, on fait varier l'intensité *moyenne* du courant traversant l'interrupteur, c'est-à-dire l'intensité que marque un *ampèremètre à aimant permanent*. L'intensité marquée par les ampèremètres à fil chaud est l'intensité *efficace*, plus grande que la première. L'intensité augmente quand la surface de l'électrode augmente, et diminue avec cette surface. Le nombre des interruptions varie en sens inverse de l'intensité, et l'on pourrait à la rigueur se passer d'un rhéostat dans le circuit, en réglant le courant et les interruptions au moyen de la vis micrométrique qui fait avancer dans le liquide ou reculer l'électrode active. En réalité, nous avons trouvé qu'il valait mieux, le plus souvent, avoir un rhéostat dans le circuit et ne pas se priver de ce second moyen de réglage.

Avec l'interrupteur Simon-Caldwell, dans lequel les interruptions ont lieu, toujours par le même mécanisme (effet Joule), au niveau d'un orifice percé dans une paroi isolante séparant en deux cellules un même récipient, les mêmes causes produisent les mêmes effets. Mais ici, il n'y a plus à con-

sidérer ni électrode active, ni sens du courant, l'interrupteur est symétrique.

La figure 135 représente, d'après M. Armagnat, la forme du courant pri-

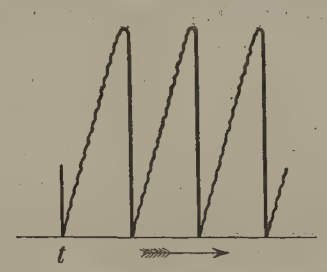
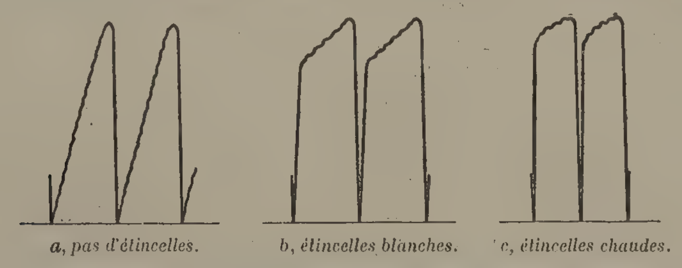


Fig. 135. — Forme du courant avec l'interrupteur Wehnelt (*d'après Armagnat*).

maire interrompu par le Wehnelt. On voit que l'intensité s'élève rapidement par une courbe ondulée — ces ondulations tiennent au dégagement des bulles gazeuses au niveau de l'électrode active — puis le courant s'interrompt brusquement et retombe à zéro pour de nouveau être rétabli, et ainsi de suite. La chute à zéro est presque instantanée ; de plus, il n'y a aucun *temps perdu* entre la période efficace précédente — fermeture et rupture — et la période efficace suivante. C'est ce qui explique la fréquence considérable de ces interrupteurs.

On voit, en examinant cette courbe, combien il serait difficile, avec des variations si rapides, de calculer, même grossièrement, la force électromotrice qui naît dans l'induit. La réaction d'induit modifie d'ailleurs cette courbe comme elle modifie (voir plus haut) la hauteur du son rendu par le Wehnelt. Voici (fig. 136) trois formes de cette courbe, d'après M. Armagnat,



a, pas d'étincelles. *b, étincelles blanches.* *c, étincelles chaudes.*

Fig. 136. — Formes du courant inducteur avec un interrupteur Wehnelt, observées au rhéographe (*d'après Armagnat*).

l'une obtenue avec circuit secondaire ouvert et pas d'étincelles ; la deuxième avec circuit secondaire fermé sur une très grande résistance, étincelles blanches ; la troisième enfin avec circuit secondaire fermé sur une résistance moindre, étincelles chaudes ou en chenilles. Le nombre des interruptions et l'intensité moyenne croissent de la première courbe à la dernière, toujours à cause de la réaction du secondaire sur le primaire, réaction qui favorise l'établissement rapide du courant en diminuant la self-induction.

Comparaison des valeurs pratiques des deux genres d'interrupteurs mécanique et électrolytique au point de vue de la production des rayons X. — Il est certain que, si l'on compare au point de vue du rendement les deux genres d'interrupteurs, celui qui l'emporte sur l'autre, c'est l'interrupteur mécanique. Il faut appeler *rendement d'un interrupteur* le rapport de la puissance électrique produite dans le circuit secondaire à la puissance dépensée dans le circuit primaire, lorsque cet interrupteur fonctionné, toutes les autres circonstances étant égales d'ailleurs. Or, même un examen expérimental superficiel doit donner la supériorité à l'interrupteur mécanique. Il suffit pour cela d'avoir observé l'échauffement considérable du circuit primaire avec les interrupteurs électrolytiques, phénomène qu'on n'observe pas avec les interrupteurs mécaniques. Tous les interrupteurs électrolytiques, en effet, qui doivent fournir d'assez longues périodes de fonctionnement, sont munis d'appareils à circulation d'eau destinés à enlever au fur et à mesure la chaleur produite et à maintenir leur température à peu près constante. Or, qu'est cette chaleur si gênante? Un déchet, c'est-à-dire une quantité d'énergie inutilement dépensée.

S'il est difficile de calculer le rendement exact d'un interrupteur quel qu'il soit à cause de la difficulté des mesures d'intensité et de force électromotrice dans le secondaire, on peut assez facilement se rendre compte de l'énorme quantité d'énergie dépensée inutilement dans l'interrupteur et transformée en chaleur. Voici une expérience faite dans l'intention de donner simplement une idée de cette quantité d'énergie perdue. Dans un interrupteur de Wehnelt, type Carpentier, on a introduit 1.500 grammes d'eau acidulée par l'acide sulfurique à 20 p. 100; puis, avec un voltage aux bornes du primaire de 115 volts, voltage mesuré en dehors du fonctionnement de l'interrupteur, on a mis en marche pendant cinq minutes. L'intensité *moyenne* du courant a été de 13 ampères; la température du liquide au début de l'expérience était de 20°; cette température s'est élevée de 26° pendant l'expérience. La bobine donnait un flux continu d'étincelles de 25 centimètres de longueur, pendant tout le temps qu'a duré l'expérience. De ces données on déduit, en supposant égale à 1 la chaleur spécifique du liquide dans l'interrupteur, que la quantité de chaleur restée dans ce liquide est de 39 calories. Or, la quantité totale d'énergie fournie au circuit primaire par la source est sensiblement égale bien qu'inférieure à $115 \times 13 \times 300 \times 0{,}00024 = 107$ (1). La quantité d'énergie transformée en chaleur par l'effet Joule est donc de un tiers de l'énergie totale fournie par la source, c'est-à-dire une fraction considérable de cette énergie.

Il n'y a donc de ce côté aucun doute, et le rendement de l'interrupteur électrolytique de Wehnelt, comme nous l'avons fait plus haut, est très

(1) Il faudrait, en effet, pour calculer l'énergie fournie par la source, connaître la force électromotrice *moyenne*. Or, cette force électromotrice moyenne dans le cas présent se rapproche, tout en étant inférieure, de la force électromotrice totale, comme le montre la courbe *c* de la figure 136.

mauvais. Il ne pourrait être accepté dans l'industrie. Le rendement de l'interrupteur électrolytique genre Simon-Caldwell l'est encore davantage, car la résistance ohmmique de cet interrupteur, comparée à la résistance totale du circuit de la bobine, est encore plus considérable, témoin le voltage plus élevé pour le Simon-Caldwell que pour le Wehnelt. Cette perte d'énergie n'existant pas dans les interrupteurs genre Foucault, dont la résistance intérieure est faible, qui ne s'échauffent sensiblement pas pendant leur fonctionnement, nous devons en conclure que le Foucault est très supérieur à l'électrolytique au point de vue du rendement.

Les choses changent sous un autre point de vue. Rapprochons les figures 133 et 135. Ce rapprochement nous permet de comparer ce que l'on pourrait appeler le *coefficient d'utilisation* de la bobine lorsqu'elle est alimentée avec les deux interrupteurs. Avec le Foucault, nous avons un temps perdu, ou d'inutilisation, énorme ; de plus, la constante de temps ne variant pas, puisque nous supposons que c'est la même bobine que nous alimentons successivement avec les deux interrupteurs, le voltage plus élevé de la source avec le Wehnelt permet d'atteindre plus vite l'intensité utile. Il en résulte, au point de vue de l'utilisation de la bobine, une supériorité marquée de l'interrupteur électrolytique. Plus clairement, la quantité d'électricité fournie dans le circuit secondaire pendant un temps déterminé est plus élevée avec l'interrupteur électrolytique qu'avec l'interrupteur Foucault. Or, au point de vue radiographique, cette dernière qualité de l'interrupteur électrolytique l'emporte de beaucoup sur son infériorité au point de vue du rendement. Grâce à elle, le tube à rayons X est plus uniformément éclairant, et le temps de pose est diminué. La radioscopie est donc meilleure et les radiographies risquent moins d'être bougées. Il peut y avoir quelques inconvénients d'autre part peut-être, mais ces deux gros avantages nous permettent de conclure à la supériorité de l'interrupteur électrolytique pour la radioscopie et la radiographie.

Ces conclusions, qui ressortent de notre expérience et du raisonnement énoncé plus haut, ne sont pas si absolues que l'on ne puisse, par une pratique différente, arriver à en donner d'autres qui, sans être contradictoires, en diffèrent cependant sensiblement. Cela prouve simplement qu'en ces matières, la pratique de chacun, perfectionnée dans le même sens par l'expérience de tous les jours, peut lui permettre d'arriver à d'excellents résultats avec les instruments dont il connaît le fort et le faible. L'on tire toujours de ses instruments à soi des effets qu'un autre ne pourrait en tirer sans un long apprentissage. Je cite donc, après ces réflexions, bien qu'elles ne soient pas complètement d'accord avec ce qui à été dit plus haut, les conclusions de M. A. Turpain, qui a comparé très savamment les interrupteurs au point de vue de leur rendement (1). Voici ces conclusions : « Au point de vue

(1) A. Turpain, Étude comparative du genre Wehnelt et du genre Foucault. *Arch. d'élect. méd.*, janvier 1902, p. 29.

de la *durée* et de l'*économie*, l'interrupteur Wehnelt à orifice (Simon Caldwell) doit être préféré à l'interrupteur à fil de platine. Tous deux sont préférables à l'interrupteur de Foucault tant à ces points de vue qu'à ceux de la *commodité* et de la *rapidité*. Quant à la *régularité* et à la *puissance*, l'interrupteur Foucault, dans les limites de vitesse entre lesquelles il fonctionne, ne le cède pas aux interrupteurs du genre Wehnelt. Il est même plus régulier que ces derniers, et si l'on fait usage de certains types d'interrupteurs du genre Foucault, bien construits, on obtient des effets sensiblement aussi puissants qu'avec les interrupteurs du genre Wehnelt, et on réalise une très notable *économie*. En outre, les interrupteurs du genre Foucault permettent de faire varier à volonté le nombre d'interruptions à la seconde. »

Interrupteur électrolytique sur courant alternatif. — S l'on place l'interrupteur électrolytique genre Simon-Caldwell sur courant alternatif, cet interrupteur étant parfaitement symétrique, il n'y a aucune raison pour qu'il ne se comporte pas de la même manière sur les deux alternances. L'interruption se produit donc aussi bien sur l'une que sur l'autre, et la courbe ci-jointe (fig. 137) représente bien ce qui se passe. A mesure que

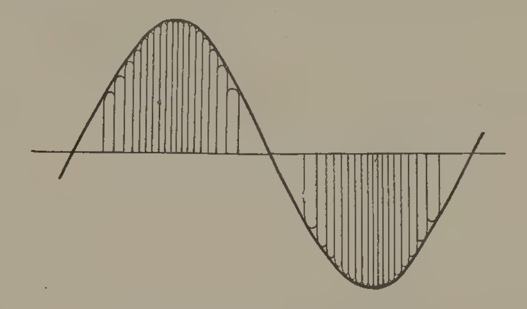


Fig. 137. — Emploi de l'interrupteur électrolytique sur courant alternatif. (*Type Simon-Caldwell.*)

la force électromotrice s'élève les interruptions deviennent plus nombreuses, pour redevenir moins nombreuses au moment où cette force électromotrice diminue. C'est un simple cas particulier de la loi énoncée plus haut (p. 206). On comprend que, dans ces conditions, la bobine ainsi alimentée ne convient plus à l'excitation des tubes à rayons X. Elle ne remplit plus, en effet, l'une des conditions indispensables du générateur électrique idéal exposées page 157, celle de donner un *flux continu* d'électricité. L'interrupteur genre Simon-Caldwell employé sur courant alternatif, ne peut donc convenir pour alimenter une bobine à rayons X.

L'interrupteur électrolytique genre Wehnelt est dissymétrique à cause de la surface très inégale de ses électrodes. Nous savons que cette dissymétrie retentit sur son fonctionnement et nous avons vu qu'il fallait toujours relier au pôle positif de la source à courant continu l'électrode de platine, c'est-à-dire la petite électrode ou électrode active de l'interrupteur de Wehnelt. L'électrode de platine du Wehnelt sur courant continu doit donc

toujours être anode pour la radiographie et la radioscopie. Lorsque cette électrode est cathode, c'est-à-dire reliée au pôle négatif, on n'obtient pas les mêmes effets. Le courant au lieu d'échauffer surtout le liquide qui entoure l'électrode, échauffe davantage l'électrode elle-même. Il semble qu'il y a une distribution différente de l'effet Joule. Aussi les interruptions, qui sont, comme nous le savons, causées par la volatilisation de la gaine de liquide au contact de l'électrode, deviennent-elles moins fréquentes et plus irrégulières. De plus, l'électrode s'échauffe davantage, rougit même, et finit par fondre, si le voltage est assez élevé. Si l'on diminue progressivement le voltage, en faisant l'électrode active tantôt anode, tantôt cathode, ce qui est une expérience facile à réaliser avec une batterie d'accumulateurs, on arrive assez vite à un voltage limite, avec lequel l'interrupteur de Wehnelt fonctionne parfaitement, l'électrode active étant anode, c'est-à-dire reliée au pôle positif de la source, tandis qu'il ne donne pas une seule interruption, l'électrode active étant cathode. Voici les chiffres pour l'une de ces expériences faites dans mon laboratoire. Batterie d'accumulateurs de 57 éléments, commutateur inverseur placé immédiatement avant le Wehnelt modèle Carpentier, ampèremètre Carpentier, bobine de Gaiffe donnant 55 centimètres d'étincelle. L'interrupteur ne fonctionne pas avec 50 accumulateurs, 102 volts au voltmètre, lorsque l'électrode active est cathode. Il fonctionne parfaitement avec le même voltage, lorsque l'électrode active est anode. La bobine donne alors des étincelles de 20 centimètres presque sans discontinuité. L'intensité moyenne avec le platine relié au pôle positif est de 9 ampères; avec le platine relié au pôle négatif l'intensité est de 11 ampères.

De cette expérience, on peut conclure qu'à cause de la dissymétrie de l'interrupteur électrolytique genre Wehnelt, avec un courant alternatif de force électromotrice maxima convenable, les interruptions se feront toujours sur l'onde pour laquelle l'électrode de platine sera anode et seulement sur cette onde. C'est en réalité ce qui se passe d'une manière générale, et l'on peut avec le courant alternatif et un Wehnelt faire de très bonnes radioscopies ou radiographies. Cependant le fonctionnement est quelquefois irrégulier et l'on n'est jamais sûr de n'avoir pas, à un moment ou à un autre, sur la phase nuisible, des interruptions qui, donnant des courants induits inverses, rendront tout travail régulier difficile. L'emploi de la soupape de Villard est tout indiqué dans ce cas (1).

Il résulte de ces considérations que l'emploi de l'interrupteur de Wehnelt sur courant alternatif pour alimenter une bobine à rayons X sans être difficile, est moins sûr que si ce même interrupteur est alimenté sur courant continu. La plupart des intallations dans lesquelles cette solution a été adoptée en ont une autre comme secours.

(1) Très récemment, des modèles d'interrupteur Wehnelt ont été construits pour fonctionner spécialement sur courant alternatif, celui de Gaiffe-Gallot, par exemple. (V. *Arch. d'élect. méd.*, n° 118, oct. 1902, p. 622.)

§ 3. — Influence du condensateur.

Le condensateur, presque toujours adjoint aux bobines, est placé soit dans le socle de l'instrument, soit dans une boîte séparée, que l'on relie par des fils appropriés au circuit primaire et en dérivation sur l'interrupteur. Ce condensateur est formé de feuilles d'étain séparées par du papier paraffiné, et superposées en nombre d'autant plus grand que le condensateur doit être de plus grande capacité. Le tout est fortement comprimé à chaud et forme, après refroidissement, un bloc solide d'où émergent les deux électrodes du condensateur.

Quelles sont les capacités utilisées ? Il règne à ce sujet une grande incertitude que les travaux de Mizuno et Armagnat cités plus haut n'ont pas entièrement éclaircie.

D'après de très récents travaux de lord Raleigh (1), qui a soumis particulièrement cette question du condensateur à une étude expérimentale, si la rupture du primaire pouvait n'avoir qu'une durée infiniment courte, on devrait considérer la présence du condensateur placé en dérivation comme inutile et même comme nuisible. Le condensateur serait surtout utile avec des ruptures lentes et des intensités élevées du courant ; mais avec de faibles intensités et des ruptures brusques, il vaut mieux n'en pas avoir, si l'on veut tirer de la bobine de très longues étincelles. Comme avec le Wehnelt, le condensateur est inutile lorsqu'on rompt le courant, comme l'a fait lord Raleigh, avec une balle de fusil coupant le circuit primaire.

Mais ce que l'observation directe montre chaque jour, c'est qu'avec la même bobine fonctionnant sur un tube donné, telle capacité donne les meilleurs résultats, tandis qu'avec un autre tube, plus mou ou plus dur, ou de construction autre, c'est une capacité différente qui conviendra. Les différences sont bien plus sensibles encore, quand on se sert des formes diverses d'interrupteurs, puisque avec les interrupteurs électrolytiques le mieux est de supprimer le condensateur, tandis qu'avec l'interrupteur de Foucault une capacité considérable est presque toujours indispensable. Pour ces raisons, les constructeurs n'indiquent pas, pour la plupart, la capacité du condensateur monté sur la bobine qu'ils livrent. Ils l'ont ajusté de manière que, dans les conditions où la bobine doit normalement fonctionner, la longueur d'étincelle fournie soit maxima, et cela une fois pour toutes pour la grande majorité des bobines. Pour les grandes bobines donnant au moins 50 centimètres d'étincelle, et pour quelques bobines moins importantes, les constructeurs emploient des condensateurs divisés dont on peut modifier, au moyen de plots et chevilles du modèle employé dans les anciennes boîtes de résistance, la capacité introduite dans le circuit. Dans ces conditions, qui devraient toujours être celles préférées

(1) Lord Raleigh, « Sur la bobine d'induction ». *Philosophical Magazine,* déc. 1901, t II, p. 580.

par un médecin radiographe habile, on peut à chaque instant modifier la valeur de la capacité dans d'assez larges limites.

En dehors de toute question théorique, l'expérience nous apprend que, lorsqu'une bobine alimente un tube de Crookes dont le vide est ajusté pour faire de bonnes radiographies ou radioscopies, il y a toujours grand intérêt, à moins de marcher sur un interrupteur électrolytique, à se servir du condensateur en dérivation sur l'interrupteur. Les avantages que l'on en retire sont, entre autres, un éclairage beaucoup plus régulier du tube et un fonctionnement beaucoup meilleur de l'interrupteur. Avec de faibles intensités, ces avantages n'apparaissent que faiblement (avec ces intensités, d'ailleurs, le tube serait inutilisable), mais avec des intensités dépassant 5 ampères moyens, avec la plupart des bobines, on ne peut marcher convenablemen qu'avec un condensateur.

CHAPITRE IV

DÉTAILS DE CONSTRUCTION DE LA BOBINE D'INDUCTION

Comme nous l'avons dit au début de cette étude, la bobine d'induction comprend un noyau magnétique, un circuit inducteur et un circuit induit enroulés sur ce noyau; la construction de la bobine ne peut diffférer, suivant les constructeurs, que dans l'agencement de ces différentes parties, leurs dimensions, la grosseur des fils, l'isolement des circuits, etc. Ce qui reste identique ou à peu près, c'est la structure générale de l'appareil constituant un transformateur à circuit magnétique ouvert pourvu des deux enroulements superposés.

§ 1. — Bobines à circuit magnétique fermé.

Des tentatives ont cépendant été faites pour construire des bobines à circuit magnétique fermé. La bobine de M. Klingelfuss semble avoir donné toute satisfaction. C'est un véritable transformateur industriel, mais à très

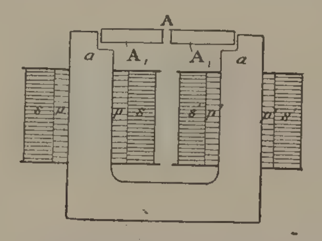


Fig. 138. — Coupe du transformateur de haute tension de M. Klingelfuss. *aa*, noyau en forme d'U. — A, armature divisée en deux parties A_1, A_1 complétant le circuit magnétique. — *pp*, *p'p'*, circuit primaire. — *ss*, *s's'*, circuit secondaire.

haute tension. La figure 138 montre sa construction. On voit que le noyau formé d'une masse de fer, convenablement feuilletée pour éviter les courants de Foucault, en forme d'U, dont les deux branches peuvent être réunies par une sorte d'armature complétant le circuit magnétique. Cette armature A, elle-même en deux parties séparées A_1, A_1, ferme bien le circuit,

mais incomplètement et permet, en la supprimant ou en l'ajoutant, d'avoir une reluctance variable du transformateur. Chacune des branches de l'U

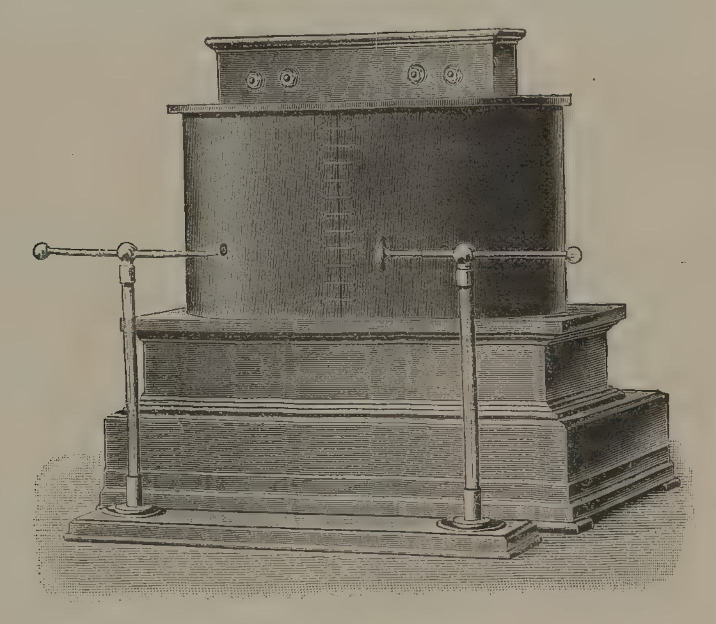


Fig. 139. — Transformateur de haute tension de M. Klingelfuss à circuit magnétique fermé.

portant comme une bobine complète avec ses circuits inducteurs et induits, on a la facilité de coupler ces différents circuits en tension ou en quantité. Le graphique ci-joint (fig. 140) contient les courbes résumant, d'après A. Turpain, l'étude comparative d'un transformateur Klingelfuss et d'une

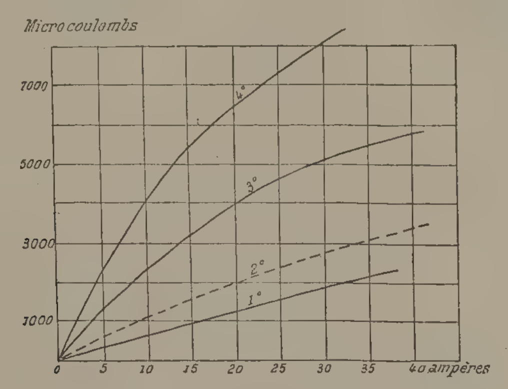


Fig. 140. — Graphique résumant les résultats donnés par le transformateur de M. Klingelfuss.

bobine de Ruhmkorff. La ligne 1° donne les quantités d'électricité en microcoulombs induites dans une bobine de Ruhmkorff ordinaire en fonction du courant inducteur ; la ligne 2° donne les quantités similaires induites dans

une bobine Klingelfuss dont les deux primaires sont reliés en quantité, l'armature A étant enlevée ; la ligne 3° représente le même élément, l'armature A étant en place ; enfin, la ligne 4° représente toujours le même élément, l'armature A étant en place et les primaires reliés en série.

§ 2. — Bobines à circuit magnétique ouvert.

Ce genre de bobine comprend presque la généralité des bobines actuellement utilisées en radioscopie et en radiographie.

Noyau magnétique. — Il est formé presque toujours de fils de fer au bois réunis en un paquet de longueur et de grosseur très variable. Ce fer est choisi de perméabilité magnétique aussi grande que possible, doux et recuit de manière que la dissipation d'énergie par hystérésis soit aussi faible que possible.

Cette cause de dissipation de l'énergie est peut-être la plus importante dans la bobine de Ruhmkorff. On sait en effet que, toutes choses égales d'ailleurs, les pertes d'énergie provenant de cette cause sont proportionnelles au volume du noyau magnétique et au nombre de cycles magnétiques, c'est-à-dire d'aimantations et de désaimantations se produisant dans l'unité de temps. Or il n'est pas de tranformateur industriel qui soit soumis à des cycles d'une fréquence aussi grande que la bobine de Ruhmkoff employée en radioscopie. Nous savons en effet qu'avec l'interrupteur électrolytique, cette fréquence peut dépasser, dans certains cas, mille cycles par seconde.

Pour diminuer une autre cause de dissipation d'énergie, celle par courants de Foucault prenant naissance dans le noyau, on divise ce noyau de fer en masses partielles aussi petites que possible. Pour cela, on ne se contente pas de prendre des tôles minces de fer, isolées l'une de l'autre par du papier laqué ou vernis, comme on le fait pour les transformateurs industriels, on se sert de fils fins soit couverts d'une légère couche d'oxyde, soit trempés dans la gomme-laque.

L'isolement du noyau de fer des deux circuits qui le recouvrent mérite la plus grande attention de la part du constructeur. Nous savons en effet quels formidables coups de bélier dans le primaire provoque quelquefois un interrupteur rapide, surtout quand le circuit induit est ouvert. Dans ces conditions, les différences de potentiel créées dans le primaire peuvent être disruptives vis-à-vis d'un isolement insuffisant du noyau de fer et prendre, le long de ce noyau, un chemin qui ne leur était pas destiné. Aussi la plupart des constructeurs ne se contentent-ils pas d'une couche de gomme-laque étendue à la surface extérieure du noyau, et ajoutent-ils, comme protection, qui, une couche de toile huilée ou paraffinée, qui, un tube en carton comprimé et paraffiné, qui, un tube mince d'ébonite, de micanite, etc.

Les dimensions du noyau de fer des bobines varient en diamètre et surtout en longueur sans qu'une règle fixe, basée sur une expérience bien

assise puisse être donnée. Telle bobine donnant 35 centimètres d'étincelle aura un noyau de 50 millimètres de diamètre, telle autre aura un noyau plus grêle, tel autre plus épais. Mais c'est surtout par leur longueur que les noyaux des bobines d'induction peuvent beaucoup différer. Telle bobine de construction allemande aura un noyau de 1/4 plus long que telle autre de construction française, sans qu'on puisse dire et surtout démontrer, par des mesures, que l'une est supérieure à l'autre.

Si l'on examine la fig. 141 on se rend compte que les lignes de force d'un barreau aimanté, bien réunies en un faisceau compact dans la partie médiane du barreau, commencent à s'échapper latéralement, puis de plus en plus vers l'extrémité du barreau. Pas d'attraction de la limaille vers le milieu du barreau, ce qui indique qu'il n'y a à ce niveau aucune perte ma-

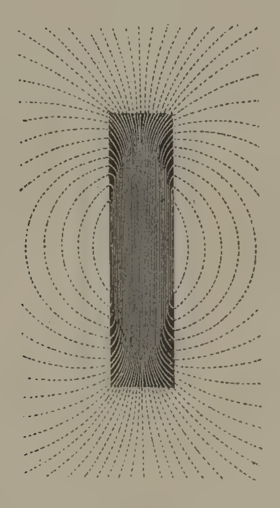


Fig. 141. — Trajet des lignes de force dans et autour du tuyau magnétique de la bobine.

gnétique; attraction de plus en plus grande au contraire vers les extrémités, ce qui indique qu'en ces points les fuites magnétiques en dehors du barreau augmentent.

D'après ces considérations, l'utilisation de la partie centrale seule du noyau pour l'enroulement du fil induit serait plus rationnelle et le noyau ne pourrait être trop long, si l'on a beaucoup de fil à enrouler, comme dans les bobines d'induction. Mais, d'autre part, si l'on augmente par trop la longueur du noyau, les pertes par hystérésis augmentent, comme nous l'avons vu plus haut, ainsi que la reluctance du circuit magnétique. On n'a pas employé, que je sache, pour les bobines d'induction, la forme de noyau magnétique préconisé par Swinburne pour certains petits transformateurs industriels, forme dite « Hedgehog » ou en « hérisson ». Ce noyau est terminé à ses deux extrémités par un épanouissement des fils qui le constituent, et le meilleur rendement des petits transformateurs construits avec un noyau

semblable serait dû à ces épanouissements. Quoi qu'il en soit, voici quelques chiffres donnés par M. Max Lévy, de Berlin, qui donneront une idée des longueurs respectives des noyaux et de la bobine induite dans quelques bobines :

	Bobines donnant une étincelle de : 30cm	50cm
Longueur du noyau et bobine inductrice.	620mm	1.135mm
— de la bobine induite.	460mm	790mm
Diamètre de la bobine induite	195mm	240mm

Circuit primaire. — Le circuit primaire est enroulé directement sur le noyau, dont il est séparé par la couche isolante dont nous avons parlé. Le plus souvent, cet enroulement est fait par couches régulières allant d'un bout à l'autre du noyau ; cependant, quelquefois, on a enroulé le primaire aux deux extrémités seulement du noyau en réservant le centre pour l'enroulement de l'induit (A. Davis, Ropiquet). Y a-t-il des avantages à cet enroulement de l'induit et quels sont-ils ? C'est ce que nous ne sommes pas capable d'apprécier. Peut-être les difficultés d'isolement entre le primaire et le secondaire doivent-elles augmenter par ce procédé.

Quelques constructeurs indiquent tous les éléments de ce circuit, le spécifiant ainsi très nettement au point de vue électrique. On peut de cette manière connaître le diamètre du fil, sa longueur, le nombre de couches enroulées et la quantité de spires que contient chaque couche. La résistance du circuit primaire est aussi indiquée pour quelques bobines, mais je n'ai jamais vu signalée la valeur de son coefficient de self-induction. Ces deux derniers éléments seraient cependant fort utiles à connaître en radiographie et en radioscopie. C'est grâce à eux, en effet, que l'on peut calculer le rapport $\frac{L}{R}$ dit constante de temps de la bobine. Malheureusement, les méthodes de mesure des grands coefficients de self-induction dans les bobines à noyaux ne sont ni assez sûres ni assez simples pour que cette constante (?) puisse être de sitôt couramment indiquée (1).

Le diamètre du fil primaire des bobines d'induction varie ordinairement entre 2 et 3 millimètres. Le nombre de tours de spire oscille entre 200 et 300 tours ; enfin, le nombre de couches superposées est ordinairement

(1) A cause du défaut de constance de la perméabilité magnétique des noyaux de fer doux, il est encore très difficile de bien définir, au point de vue scientifique, ce que l'on entend par l'expression de « coefficient de self-induction » d'une bobine à noyau de fer. Tous les auteurs ne sont pas d'accord sur la définition de cette expression (E. Hospitalier). D'autre part, les méthodes de mesure des coefficients de self-induction, celles de Lord Rayleigh et de Pirani, ne sont applicables qu'aux bobines sans fer, ou du moins à celles dans lesquelles l'hystérésis est négligeable. De plus, il ne faut pas les employer pour les coefficients élevés (H. Armagnat). Or toutes ces conditions restrictives sont précisément celles que remplissent les enroulements primaires de nos bobines d'induction.

de deux ou de trois couches au plus. Nombre de constructeurs livrent des bobines à plusieurs bornes d'entrée pour le primaire; les bornes 1 et 2 permettent d'utiliser deux couches du circuit inducteur; les bornes 1 et 3 permettent d'utiliser trois couches superposées, etc. On a ainsi un moyen d'adapter la bobine à des sources de force électromotrice différentes ou à des interrupteurs plus ou moins rapides.

L'isolement du primaire par rapport au secondaire est l'un des points de la construction de la bobine qui demande le plus de soins. Dans les très anciennes bobines on ne trouve que du papier paraffiné interposé en plusieurs couches entre l'inducteur et l'induit, aussi est-ce toujours par là que ces bobines *crèvent*, suivant l'expression consacrée. Aujourd'hui, non seulement on se sert pour cet usage des meilleurs isolants connus, ceux dont la *rigidité électrostatique* est la plus grande, mais encore on a soin qu'ils ne présentent aucune lacune dans leur continuité. Pour remplir cette dernière condition, la plupart des constructeurs se servent de tubes soit d'ébonite, soit de tout autre isolant et plus particulièrement de « micanite », que l'on trouve aujourd'hui facilement dans l'industrie, sous des longueurs, des diamètres et des épaisseurs qui conviennent aussi bien pour les très grandes que pour les petites bobines.

Circuit secondaire. — Le coefficient de transformation des bobines d'induction étant très élevé, le circuit secondaire devra être formé d'un fil très long enroulé un grand nombre de fois sur le fil primaire et sur le noyau. Nous savons en effet que ce coefficient de transformation est égal au rapport $\frac{N}{n}$ du nombre N de tours de spires formant le secondaire au nombre n des tours similaires formant le primaire. Si nous faisons ce rapport $\frac{N}{n} = 300$ pour une bobine donnée (1), n étant d'autre part égal à 200, nous aurons pour N la valeur 60.000 tours. Cette valeur est une valeur moyenne. Certains constructeurs disent enrouler leurs induits de bobine d'induction à 100.000 tours et davantage.

La grosseur ou le diamètre du fil oscille entre $0^{mm},1$ et $0^{mm},2$, jamais plus gros, rarement plus fin. Mon laboratoire possède cependant une bobine

(1) Le coefficient de transformation varie avec la longueur d'étincelle de la bobine. Ainsi, voici ceux donnés pour ses bobines par l'*Allgemeine Electricitäts Gesellschaft*.

Longueur d'étincelle en centimètres.	Coefficient de transformation.
15	160
20	180
25	210
30	240
40	300
50	350
60	420
70	500

d'induction donnant 25 centimètres d'étincelle dont l'induit est enroulé avec du fil de $0^{mm},35$, mais dans ce cas on a dû sacrifier un peu de la longueur du fil à son augmentation de section.

La longueur du fil induit peut être assez facilement déduite des données précédentes si l'on connaît pour une certaine bobine le diamètre de la spire moyenne. L'on trouve en faisant les calculs un assez joli chiffre de kilomètres, de 15 à 150 et davantage, suivant les bobines. A. Turpain cite à ce sujet une bobine construite par Apps donnant 105 centimètres d'étincelle, dont l'induit contient 450 kilomètres de fil.

Mais c'est dans le mode d'enroulement de l'induit et dans l'isolement de cette très grande longueur de fil le long duquel doivent se développer d'énormes différences de potentiel que réside surtout la difficulté de construction de la bobine d'induction. Autrefois le fil induit était enroulé comme le fil inducteur de bout en bout et par couches entières se recouvrant l'une l'autre ; aujourd'hui toutes les bobines ont leur induit enroulé par minces galettes réunies en tension l'une à l'autre et séparées par des cloisons isolantes. Ce sont les bobines à induit *cloisonné* ou à *cloisonnements*.

Les bobines, ou galettes élémentaires, sont très minces dans les bobines actuelles; la plupart des constructeurs ne leur donnent guère plus de 2 millimètres d'épaisseur. C'est dans la gorge de ces sortes de poulies très étroites qu'est enroulé au tour, ou par tout autre procédé mécanique, le fil mince recouvert de soie blanche et soigneusement gomme-laqué. Les joues de ces galettes sont formées d'une lame mince d'un isolant de bonne qualité, carton mince paraffiné, papier gomme-laqué, mica ou micanite, ébonite, etc. Lorsque les galettes sont bien accolées les unes aux autres et que les connexions sont faites, on noie, pour plus de sûreté, le tout dans de l'arcanson en fusion en évitant avec le plus grand soin qu'aucune bulle d'air ne reste interposée. Quelques constructeurs emploient de la paraffine au lieu d'arcanson, quelques autres enfin se servent d'un isolant fluide, c'est-à-dire liquide ou pâteux qui nécessite alors un vase extérieur dans lequel la bobine tout entière est contenue. Pour les bobines recouvertes d'arcanson ou de paraffine, on les enferme habituellement soit dans un cylindre d'ébonite, soit dans des boîtes de bois de formes variées. Cylindres d'ébonite ou boîte de bois servent à fixer la bobine sur un socle qui contient dans son épaisseur le condensateur de la bobine. Les vides entre les parois de la boîte et la masse d'arcanson ou de paraffine dans laquelle est noyée la bobine induite sont remplis habituellement par une masse de paraffine versée pendant la fusion.

Les deux extrémités du fil induit doivent être amenés à l'extérieur à des bornes qui permettent d'y prendre le courant. L'isolement de ce fil doit encore être minutieusement établi. Ordinairement, ce n'est pas le fil mince de la bobine induite qui va jusqu'aux bornes de prise, sa fragilité est pour cela trop grande, on le soude ou on l'attache solidement à un fil plus

gros (1 à 2 millimètres). Ce gros fil sort de la masse d'arcanson et de paraffine, au centre d'un tube isolant, verre ou ébonite, et se prolonge ordinairement par deux colonnes d'ébonite fixées sur la face supérieure de la bobine, colonnes portant les bornes de prise ainsi que deux pièces métalliques dites *pare-étincelles*, entre lesquelles jaillit l'étincelle maxima que puisse donner la bobine.

CHAPITRE V

DESCRIPTION DES PRINCIPAUX TYPES DE BOBINES

Désignation des bobines. — La désignation d'une bobine d'induction pour la radiographie ou la radioscopie se fait par la longueur d'étincelle qu'elle est capable de donner. Tout ce qui a été dit plus haut prouve combien cette désignation est insuffisante, car on ne sait presque jamais si c'est d'étincelles rares qu'il s'agit ou d'un flot ininterrompu, si les étincelles jaillissent entre des pointes, des sphères ou des plateaux, ni de quel interrupteur on s'est servi, ni de quel voltage, etc., toutes choses qui, comme nous l'avons vu, influent sur la longueur de l'étincelle produite. Par ce moyen donc, la désignation est insuffisante. Puisque l'on ne peut donner jusqu'à nouvel ordre, comme pour les transformateurs industriels, la puissance de la bobine en hectowatts, son rendement et son coefficient de transformation, il nous semble que les constructeurs, par une étude sommaire de la bobine avant de la livrer, devraient indiquer, avec la longueur de l'étincelle fournie (1), l'intensité et le voltage du courant primaire qui a été employé, les deux mesurés avec des appareils à fil chaud; l'interrupteur dont on s'est servi et le nombre d'interruptions; la capacité du condensateur; les autres circonstances pratiques qu'ils jugent utile de réunir pour le bon fonctionnement de la bobine.

Les divers types de bobines que nous allons décrire et figurer sont ceux que l'on trouve habituellement employés pour les applications des rayons X à la médecine. Elles ont pour la plupart un aspect extérieur assez peu différent, il nous a cependant semblé qu'il était utile au lecteur de connaître ces divers aspects.

Bobine Carpentier. — Voici celui de la bobine Carpentier, anciens ateliers de Ruhmkorff, dans lesquels ont été construites pendant longtemps à peu près toutes les bobines de grandes dimensions (fig. 142). — On voit que le dernier modèle de cette maison ne ressemble plus au modèle ancien, celui antérieur à la découverte des rayons X. Cet ancien modèle, dont de nombreux exemplaires ont été, dès la découverte de Röntgen, employés à

(1) Mesurée entre boules de 22 millimètres de diamètre pour pouvoir utiliser l'échelle des potentiels explosifs de Mascart.

ce nouvel usage, quelquefois très dur, pour lequel ils n'avaient pas été construits, a donné d'excellents résultats. En particulier, l'une de ces bobines,

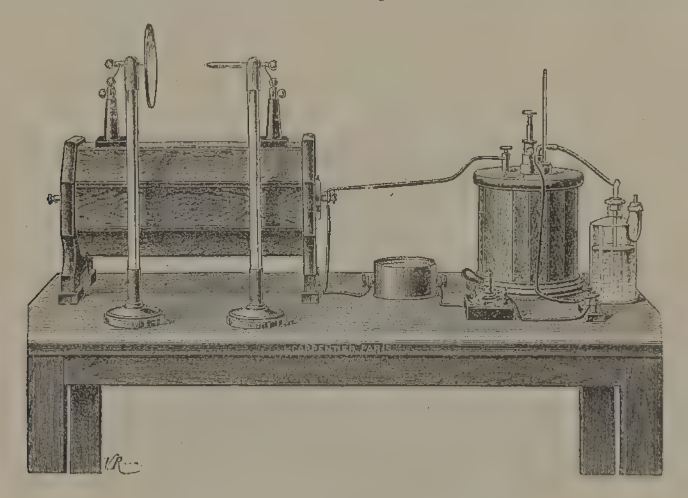


FIG. 142. — Bobine Carpentier.

donnant 35 centimètres d'étincelle, est constamment en marche depuis 1895 dans le service de radiographie de l'hôpital Saint-André, à Bordeaux.

Bobine Ducretet. — Le type des bobines de M. Ducretet, construit aussi bien pour la production des rayons X que pour la télégraphie sans fil, est représenté figure 143. On voit que ce qui la caractérise extérieurement, c'est la boîte parallélipipédique en bois d'acajou à dessus d'ébonite qui

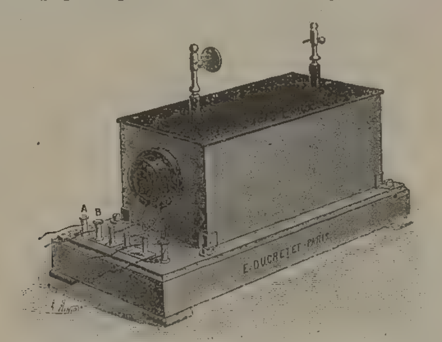


FIG. 143. — Bobine Ducretet.

contient toute la bobine et la met, plus sûrement ainsi, à l'abri des causes mécaniques de détérioration. De la boîte sortent les pare-étincelles portés par des tubes d'ébonite.

Bobine Gaiffe. — Les bobines de M. Gaiffe sont tantôt enfermées dans des boîtes de bois, comme celles de M. Ducretet, tantôt dans une gaine d'ébonite avec joues de même substance. Le premier type est même aujourd'hui celui qui a prévalu dans la construction de cette maison. Comme détail, nous tenons de ce constructeur que les galettes de l'induit sont sépa-

rées les unes des autres par des feuilles de carton paraffiné spécial, résistant, sous 1 millimètre d'épaisseur, à 25 centimètres d'étincelle. L'isolement

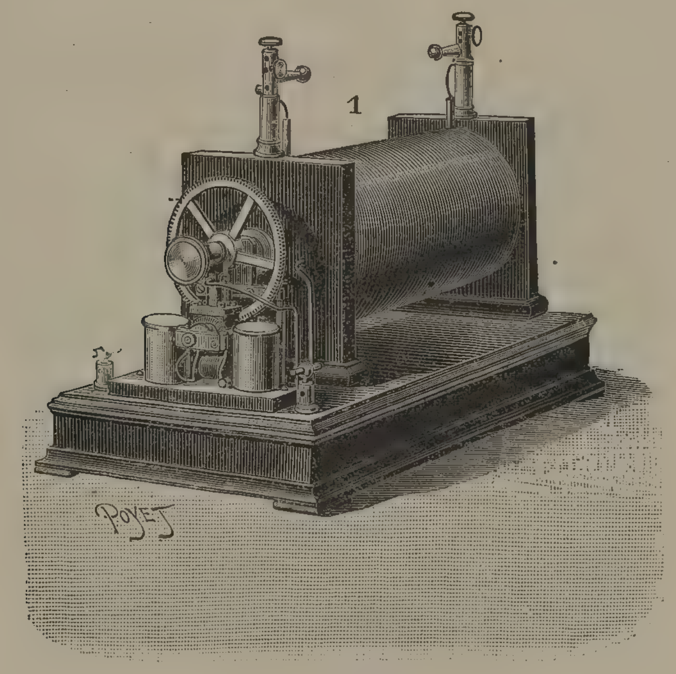


Fig. 144. — Bobine Gaiffe.

entre l'induit et l'inducteur est fait de manière à résister à une étincelle disruptive 10 à 15 fois plus forte que celle donnée par la bobine. Les sorties de l'induit sont faites par des tubes à double isolement de verre et d'ébonite et terminées par des bornes.

Bobine Radiguet. — Les types de bobine construits par M. Radiguet

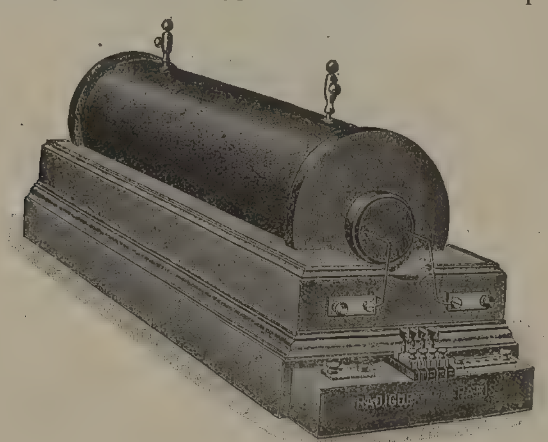


Fig. 145. — Bobine Radiguet.

sont assez variés. Il en a à joues de bois, à joues de cristal et sur pieds;

mais la bobine *en cuve de paraffine* est le modèle vraiment caractéristique de la construction de cette maison.

Cette bobine est représentée figure 145 et n'a besoin d'aucune description. Quant à la composition de l'induit, il est formé comme toujours de galettes transversales dont les galettes centrales renferment un plus grand nombre de spires. De plus, ces galettes centrales sont très voisines de l'inducteur, tandis que les galettes extrêmes en sont très distantes. La couche d'isolant entre l'inducteur et l'induit croît donc du centre de la bobine vers ses extrémités.

Le transformateur d'induction de M. Radiguet a ceci de particulier que l'induit est fractionné comme l'anneau d'une machine de Gramme. Les figures 146

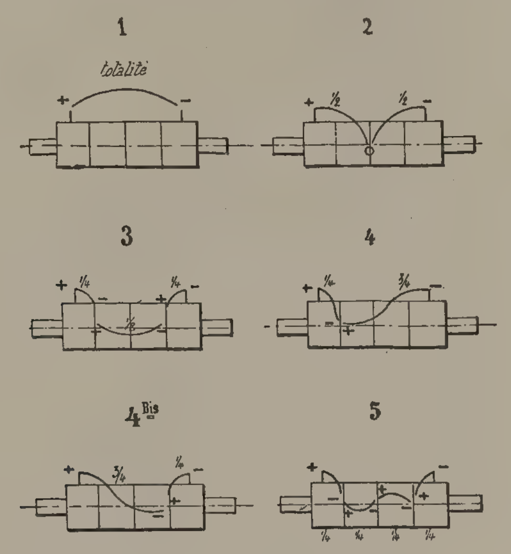


Fig. 146. — Couplages différents des induits partiels du transformateur de M. Radiguet.

représentent les combinaisons multiples que l'on peut faire avec cet induit fractionné en les connectant de diverses manières les unes aux autres (1).

Parmi ces manières diverses, on peut remarquer celle n° 2, dans laquelle le milieu de l'induit étant mis au sol, la différence de potentiel croît à partir de ce point à mesure qu'on se rapproche des extrémités de la bobine. On comprend que dans ces conditions la longueur de l'étincelle fournie par la bobine soit sensiblement raccourcie. On voit de plus qu'avec ce dispositif d'induit, dont l'un des points peut être mis à la terre, dispositif préconisé d'abord par MM. Rémond et Bouchacourt, on peut exciter des tubes à rayons X dont l'un des pôles est aussi au sol. C'est ce que ces auteurs ont appelé *induction uni-polaire*, probablement à cause de la diffusion du second pôle, de la densité de courant très faible à son niveau et de l'analogie que présente ce dispositif avec la méthode monopolaire employée en élec-

(1) V. *Archiv. d'élect. méd.*, 1901, p. 562.

trodiagnostic ou l'un des pôles est dit *indifférent* à cause de sa grande surface.

Bobine Wydts et Rochefort. — Le transformateur construit par MM. Wydts et Rochefort (fig. 147, 148) présente des particularités intéressantes. Tout d'abord l'isolement entre le noyau magnétique, l'induit et l'inducteur est fait avec un isolant qui n'est ni solide ni liquide, mais qui

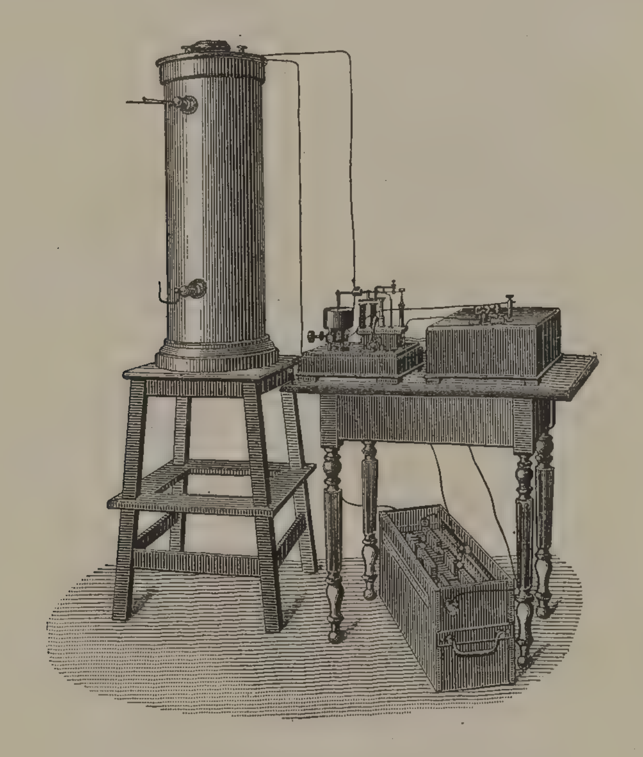


Fig. 147. — Transformateur Wydts et Rochefort.

présente la consistance pâteuse. Il en résulte que tout l'appareil doit être et est renfermé dans un vase de verre étanche, cylindrique, reposant verticalement sur une de ses bases et d'où sortent les pare-étincelles de l'induit et les bornes d'entrée de l'inducteur. D'autre part, au lieu des nombreuses galettes du secondaire enfilées sur l'inducteur, MM. Wydts et Rochefort affirment n'avoir besoin pour obtenir 20 à 22 centimètres d'étincelle que d'une seule bobine de fil induit du diamètre de 10/100 et pesant 600 grammes. La bobine en question est placée au milieu même du noyau inducteur, c'est-à-dire, comme nous l'avons montré, au point le plus favorable. Aussi le rendement de l'appareil semble-t-il très élevé. Voici les chiffres donnés par les constructeurs : une bobine donnant 20 à 22 centimètres d'étincelle fournit des étincelles très nourries avec une dépense de 20 watts, soit 6 volts et 3,5 ampères.

Parmi les bobines construites à l'étranger, nous citerons quelques types parmi ceux de plus en plus nombreux qui peuvent être utilisés pour la production des rayons X.

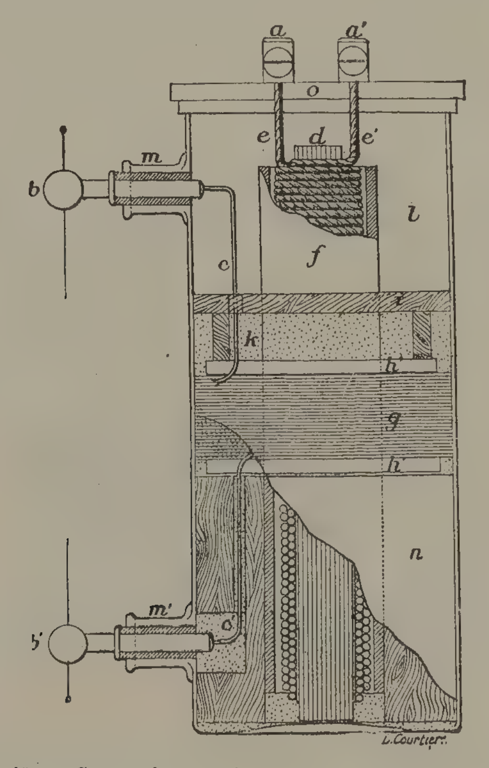


Fig. 148. — Coupe du transformateur Wydts et Rochefort.

Bobine de l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft. — Voici

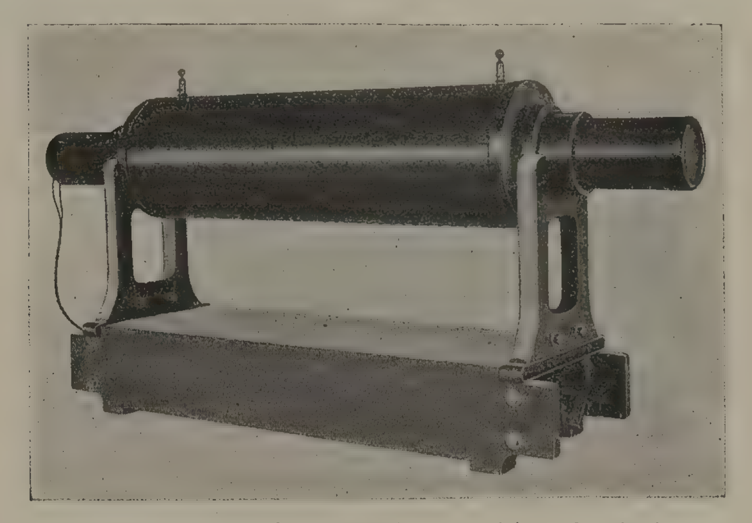


Fig. 149. — Bobine de l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft.

le type adopté par l'Allgemeine Electricitäts Gesellschaft. On jugera des diverses dimensions de cette bobine par les chiffres suivants, qui se rapportent au modèle **1,40**, donnant 43 centimètres d'étincelle, ayant un coefficient de 300 et marchant sur 120 volts en absorbant 26 ampères dans le primaire : la longueur du noyau magnétique est 1.050 millimètres ; la longueur de l'inducteur est à peu près la même ; la longueur de l'induit est de 640 millimètres, le poids total de la bobine est de 58 kilogrammes.

Presque toutes les bobines de construction allemande ressemblent plus ou moins à ce type ; telles sont celles de Max Lévy, de Hirschmann, de Siemens et Halske, etc., et l'on peut dire que ce qui caractérise ces bobines, c'est, d'une part, la grande longueur du noyau inducteur et l'emploi presque exclusif des tubes d'ébonite pour isoler ou enfermer les divers circuits.

Bobine de la Marconi Wireless Telegraph C°. — Voici le type de bobine construit en Angleterre par la Marconi Wireless Telegraph C° et

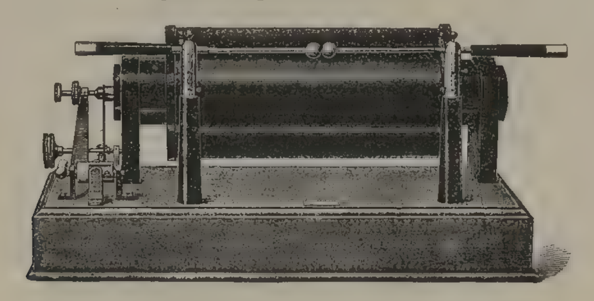


FIGURE 150.

destiné aux rayons X (fig. 150). Ce type a également un air de famille avec celui adopté par les grands constructeurs anglais, tels que Apps, Newton, Watson, Cox, etc.

Bobine Luraschi. — Parmi les bobines italiennes, signalons celle,

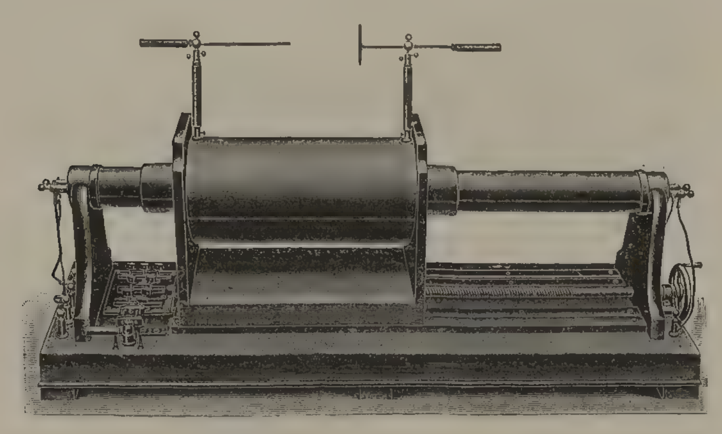


FIG. 151. — Bobine Luraschi.

très originale, de M. le docteur Luraschi, construite par Campostano de

Milan. On voit qu'elle a pour caractéristique d'utiliser, pour la graduation du courant fourni, le principe du déplacement de l'induit par rapport à l'inducteur introduit en électro-physiologie par Du Boys-Reymond. L'induit est mû, comme on le voit dans la figure ci-jointe (fig. 151) par une vis sans fin, au moyen d'une manivelle, et vient recouvrir en tout ou en partie l'inducteur. Le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits est ainsi modifié, si bien qu'on peut avoir avec cette bobine des longueurs d'étincelle très variées et alimenter par conséquent toute sorte de tubes.

Bobine Elihu Thomson. — Les bobines construites sur les indications du professeur Elihu Thomson par la General Electric Company's Works de Schenectady (États-Unis), ont ceci de particulier, que l'induit et l'induc-

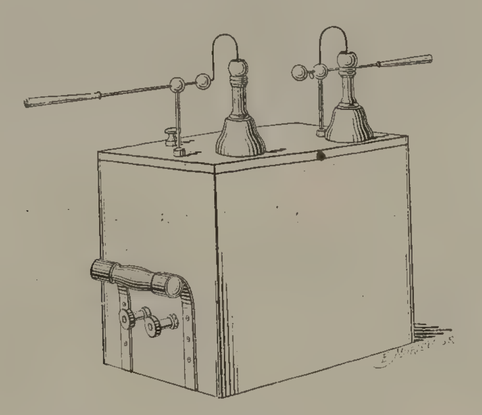


Fig. 152. — Bobine Elihu Thomson.

teur sont enfermés dans une boîte parallélipipédique complètement remplie d'huile. L'isolement est entièrement assuré par ce diélectrique. D'autre part, le poids des bobines inductrice et induite est, pour la même longueur d'étincelle, sensiblement réduit. La figure ci-jointe (fig. 152) représente la forme de ces bobines, qui est assez originale.

Bobine Queen. — Les bobines ont souvent été disposées dans le but

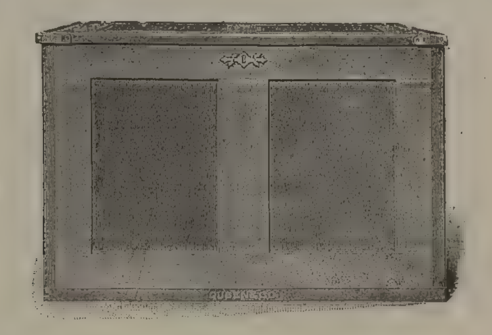


Fig. 153. — Bobine Queen and C° dans sa boite.

de pouvoir faire des opérations radiographiques ou radioscopiques au domi-

cile même des malades. Bien que ces déplacements soient le plus possible à éviter, à cause des difficultés matérielles qui se présentent et qui varient dans chaque cas, il n'en est pas moins vrai que l'on y est obligé assez sou-

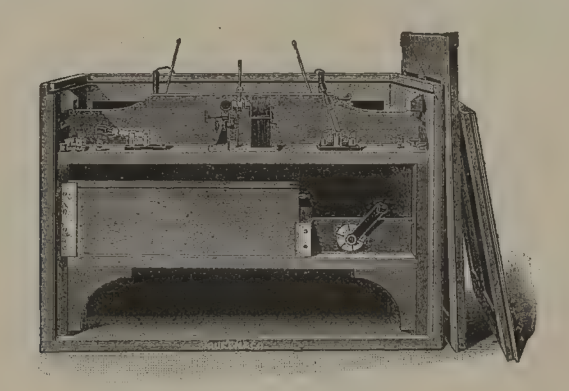


Fig. 154. — Coupe de la bobine Queen and C°.

vent. Aussi beaucoup de constructeurs se sont-ils ingéniés à réaliser des types de bobines pouvant être transportés sans risques, avec leur batterie d'accumulateurs, leur interrupteur, l'écran et même le tube. En Angleterre, on a construit tout un matériel radiographique qui a pu être utilisé sur les champs de bataille. Mais, parmi les types construits spécialement pour le transport, ceux de la Queen and C°, de Philadelphie, qui s'est fait une spécialité de ces appareils, me paraissent intéressants à signaler. La figure 153

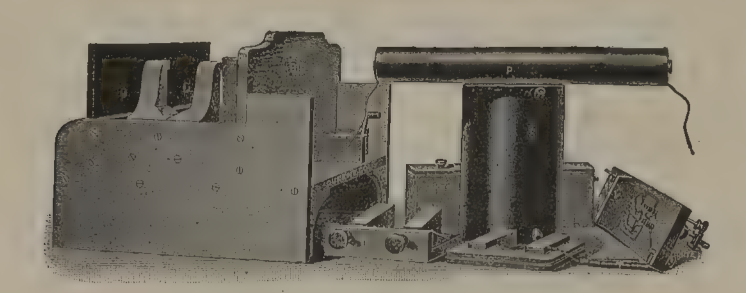


Fig. 155. — Pièces composant la bobine Queen and C°.

représente la bobine avec tous ses accessoires, y compris la batterie d'accumulateurs, le tube et l'écran, enfermée dans une caisse et prête à être expédiée. La figure 154 représente la même bobine donnant 35 centimètres d'étincelle prête à être mise en fonction. Enfin, la figure 155 représente les diverses parties constituantes de la bobine qu'on pourrait avoir besoin de démonter pour une vérification.

D[r] J. Bergonié,

Professeur de Physique biologique et d'Electricité médicale à l'Université de Bordeaux.

II. — APPLICATIONS DES MACHINES STATIQUES A L'EXCITATION DES TUBES DE CROOKES

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS ET CHOIX DU MODÈLE

Un courant électrique de très haute tension, de direction constante, intermittent ou non, étant l'agent nécessaire à la production des rayons Röntgen, et les machines électrostatiques donnant un pareil courant, il était naturel de chercher à les employer pour la production de ces rayons.

§ 1. — Généralités.

Peu de temps après la découverte de Röntgen, MM. Bergonié, de Bordeaux, Destot, de Lyon, Guilloz, de Nancy, Leduc, de Nantes, Monell, de New-York, montrèrent que l'on pouvait utiliser les machines électrostatiques pour toutes les applications de la radioscopie et de la radiographie. Malgré les avantages nombreux qu'il présente, l'emploi des machines électrostatiques fut d'abord négligé ; ces machines semblent aujourd'hui mieux appréciées. Dans la préface de la seconde édition de son excellent livre *The Röntgen rays in medical Work*, le Dr Walsh dit : « Depuis la première édition de ce livre, il n'y a pas eu de grands progrès à enregistrer, mais une amélioration générale dans toutes les directions. Les temps d'exposition sont plus courts, les résultats plus certains, et *les mérites de la machine statique plus largement reconnus.* » Et dans un autre passage : « Il semble à peu près certain que, dans un avenir très rapproché, l'appareil de choix, spécialement pour l'armée et la marine, sera la machine électrostatique de Wimshurst à plateaux d'ébonite. » Dans le numéro du 15 juillet 1900 des *Archives d'électricité médicale*, M. le Dr Béclère a publié une remarquable étude sur l'emploi de la machine statique pour l'examen radioscopique au domicile des malades.

Les machines électrostatiques ont sur les bobines l'avantage de la simplicité ; tandis que ces dernières exigent de nombreux accessoires, dont la conduite et l'entretien imposent beaucoup de peine et de travail ; (piles ou accumulateurs, interrupteurs, rhéostats, etc.), les machines statiques n'ont besoin d'aucun accessoire exigeant un entretien quelconque ; elles se suffisent à elles-mêmes ; un aide tourne la manivelle, et la machine donne le courant électrique pour la production des rayons. Par suite de leur simplicité, les machines électrostatiques permettent de réaliser sur les dépenses d'installation une notable économie ; cette économie se trouve accrue par le fait que ces machines sont susceptibles d'être utilisées pour toutes les autres applications médicales de l'électricité statique. C'est encore à leur simplicité, et aussi à leur légèreté, que les machines électrostatiques doivent d'être le plus transportable des générateurs des rayons Röntgen. Elles ménagent les tubes bien mieux que les bobines, ne produisent point les accidents signalés fréquemment avec celles-ci, tels qu'érythème, mortification de la peau, etc. ; elles permettent enfin de pratiquer la radioscopie avec plus de perfection que les bobines.

On a reproché aux machines statiques de n'avoir pas un rendement suffisant et d'exiger de trop longues poses ; ce reproche n'est applicable qu'aux machines n'ayant pas un débit suffisant, soit parce qu'elles ont été choisies trop faibles, soit parce qu'elles sont défectueuses ; le même reproche pourrait être fait aux bobines dans les mêmes conditions, car s'il peut être applicable à un appareil en particulier, il ne l'est pas à l'ensemble des machines statiques. Ce qui, d'ailleurs, a donné lieu à ce reproche, c'est que toute la valeur des machines statiques dépend de leur entretien et de leur direction ; cet entretien n'est pas difficile, mais la plus légère négligence rend momentanément inutilisable le meilleur des appareils ; la plus légère humidité, la poussière, l'oxydation des surfaces métalliques, un ou deux fils métalliques dirigeant leurs pointes vers les objets voisins, et le débit se trouve réduit dans une proportion énorme, souvent du maximum à zéro.

§ 2. — **Choix du modèle.**

La tension de l'électricité fournie par les machines électrostatiques est toujours suffisante pour la production des rayons X, il n'est donc pas nécessaire de choisir des plateaux d'un très grand diamètre ; le plus petit diamètre des plateaux des machines médicales, $0^m,45$, donne une tension qui permet de produire des rayons Röntgen pour toutes les applications médicales ; on pourrait donc, à la rigueur, s'en contenter ; mais il vaut mieux prendre un diamètre un peu plus grand, $0^m,55$ par exemple, on aura ainsi facilement des étincelles de $0^m,20$ à $0^m,25$; il n'y a toutefois qu'avantage à choisir une machine avec des plateaux d'un plus grand diamètre pourvu

qu'elle soit assez bien construite pour permettre d'imprimer à ces plateaux une vitesse aussi grande que celle que l'on donnerait aux plateaux d'un diamètre moindre. Ce qui surtout est faible dans le courant fourni par les machines électrostatiques, c'est le débit, et la moindre perte suffit à le faire tomber au-dessous de ce qui est nécessaire à la production des rayons Röntgen. Le débit, avons-nous vu, est d'autant plus grand qu'est plus petite la distance entre les deux plateaux de la machine de Wimshurst ; pour les machines de Holtz aussi bien que pour les machines de Wimshurst, il est proportionnel au nombre des plateaux et à la vitesse de rotation. Une machine de Wimshurst à deux plateaux de $0^{m},45$ de diamètre, sans secteurs, à balais multiples et disposée pour être tournée avec une vitesse suffisante, donne avec un bon tube des rayons Röntgen permettant d'effectuer presque toutes les opérations de la radioscopie et de la radiographie. Mais le médecin qui choisit son appareil devra préférer une machine à plusieurs paires de plateaux : deux, trois, quatre paires ou même plus ; le seul inconvénient dans cette voie est l'augmentation du prix avec le nombre des plateaux, et aussi le fait que la machine devient de moins en moins transportable. Une machine à deux ou trois paires de plateaux d'ébonite, de $0^{m},55$ de diamètre, avec dispositif pour tourner à grande vitesse, 800 tours à la minute environ, sans secteurs, avec balais multiples, constitue un excellent générateur de rayons Röntgen, pouvant répondre à toutes les exigences.

CHAPITRE II

ACCESSOIRES

§ 1. — Bouteilles de Leyde.

Les bouteilles de Leyde ne sont nullement indispensables à la production des rayons X par les machines électrostatiques, mais elles constituent un accessoire souvent utile. Certaines machines portent leurs bouteilles de Leyde fixées à la table ; une tige amovible permet, en s'enfonçant dans la bouteille, de mettre les conducteurs de la machine en rapport avec les armatures internes ; en retirant les tiges on sépare les bouteilles de la machine. A ce dispositif on doit préférer les bouteilles libres que l'on peut suspendre aux pôles de la machine ou faire communiquer avec ces pôles à l'aide d'un conducteur. Lorsqu'on emploie des bouteilles de Leyde pour la production des rayons X, on peut avoir besoin de capacités différentes suivant les tubes ; il faut donc avoir des bouteilles de Leyde de différentes grandeurs, ou bien une paire de bouteilles à capacité variable par le déplacement dans la bouteille de l'armature interne que l'on approche ou que l'on éloigne de l'armature externe.

§ 2. — Interrupteur à étincelle.

Pour produire les rayons Röntgen à l'aide des machines électrostatiques, il n'est pas indispensable, mais il est souvent très utile, ainsi que l'a montré M. Destot, d'interrompre le circuit par un espace limité par deux boules métalliques entre lesquelles le circuit se rétablit par une étincelle. Le dispositif pour obtenir ce résultat était désigné par les anciens auteurs sous le nom d'électromètre ; on l'appelle en Amérique interrupteur ; en France, détonateur ou exploseur. Beaucoup de détonateurs offerts aujourd'hui par les fabricants sont défectueux.

Les interrupteurs américains se fixent sur les manches d'ébonite des électrodes de la machine et présentent des sommets d'angles dièdres, des vis à têtes

molletées, par où s'écoulent les charges électriques dont il est si important d'éviter les pertes. Tous les détonateurs doivent avoir des manches isolants, pour permettre à tout instant, pendant la marche, de régler par des mouvements très doux la distance des boules. Un détonateur très simple et très bon est formé (fig. 156) d'une boule métallique, fixée par l'intermédiaire

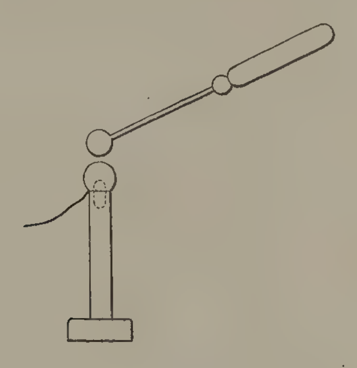


FIGURE 156.

d'une tige à la partie supérieure d'un tube de verre bien verni à la gomme-laque et supporté par un pied pesant lui donnant de la stabilité ; entre la tige et la boule se trouve pincé, dans une fente de la tige, le fil conducteur dont l'extrémité se trouve ainsi enveloppée par la boule ; on place cette colonne sur la table de la machine, mettant sa boule en contact avec une des boules polaires ; on peut ensuite régler à tout instant la distance des deux boules, soit avec le manche isolant de l'électrode, soit en éloignant la tige de verre et sa boule.

Un dispositif encore meilleur (fig. 157) consiste à fixer au bâti de la machine

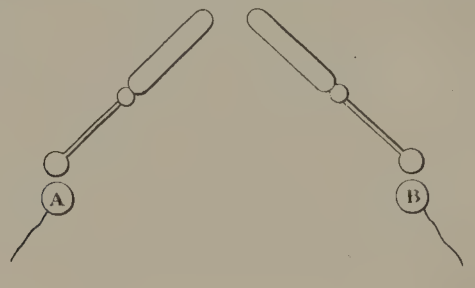


FIGURE 157.

des boules métalliques bien isolées A, B, servant de prise de courant, et dont on peut à volonté, à l'aide de leurs manches isolants, approcher ou éloigner les boules des électrodes de la machine. Les boules doivent être disposées pour recouvrir complètement les terminaisons des fils conducteurs.

§ 3. — **Conducteurs.**

C'est surtout par les conducteurs que s'effectuent les pertes de charge; aussi ceux-ci doivent-ils être disposés et surveillés avec soin. Les conducteurs doivent être souples. L'isolant dont sont entourés les fils que livre le commerce est insuffisant pour les hautes tensions de l'électricité statique, et les conducteurs devront être recouverts d'un tube de caoutchouc souple, noir ou rouge, mais sans poussière à sa surface comme en a le caoutchouc blanc. Les extrémités des fils doivent, autant que possible, aux prises de courant, être entièrement recouvertes par des boules métalliques ; aucune terminaison de fil ne doit rester libre, cela suffirait à compromettre la marche de la machine ; toutefois, on peut utiliser les tubes ordinaires dont les électrodes prises de courant sont formées par des boucles, en passant dans la boucle l'extrémité du fil conducteur, la repliant sur elle-même pour la tordre autour du fil, et recouvrant complètement avec le tube de caoutchouc que l'on amène jusqu'au contact du tube.

CHAPITRE III

MODE D'EMPLOI DES MACHINES ÉLECTROSTATIQUES

Quoique ce chapitre soit une anticipation sur le plan général de l'ouvrage, l'excitation des tubes par les machines électrostatiques forme un tout trop complet pour que nous puissions éviter de parler ici du tube de Crookes lui-même et de son fonctionnement.

On a fabriqué des tubes spécialement destinés aux machines électrostatiques ; mais celles-ci peuvent animer tous les tubes ; la résistance du tube surtout est importante, tandis qu'une bobine peut faire donner un bon rendement à des tubes dont la résistance varie dans des limites relativement étendues ; le tube destiné à une machine statique doit avoir une résistance adaptée à la machine, et les limites dans lesquelles varie cette résistance sont moins étendues que pour les bobines. Les tubes à régulateurs de pression, et en particulier le tube à osmo-régulateur de Villard, sont particulièrement utiles pour l'emploi des machines statiques. La résistance des tubes varie beaucoup moins avec les machines électrostatiques qu'avec les bobines ; les tubes ne noircissent pas, ne se brûlent jamais, sont beaucoup moins exposés à se briser, de telle sorte que, lorsque l'on a rencontré un bon tube, s'adaptant bien à une machine, on peut le conserver indéfiniment avec toutes ses qualités, quelque fréquent usage qu'on en fasse. Les tubes doivent être disposés de façon à éviter toute perte de charge ; pour cela, on les allonge, de façon, en éloignant leurs électrodes, à éloigner aussi les fils conducteurs. Certains tubes pour machines statiques ont leurs électrodes terminées par des boules métalliques dans l'intérieur desquelles s'introduisent à frottement les extrémités des conducteurs. Nous avons indiqué comment suppléer à l'absence de ces boules en ramenant jusque sur les électrodes les tubes de caoutchouc qui recouvrent les conducteurs. Enfin, la surface du tube doit être tenue toujours parfaitement sèche, propre, exempte de poussière ; il sera utile, avant chaque séance, d'essuyer soigneusement la surface du tube avec un linge imprégné d'alcool.

§ 1. — Dispositifs pour la production des rayons Röntgen à l'aide des machines électrostatiques.

Il existe trois dispositifs permettant d'obtenir des rayons Röntgen à l'aide des machines électrostatiques :

1° Le tube est simplement placé dans le circuit de la machine (fig. 158)

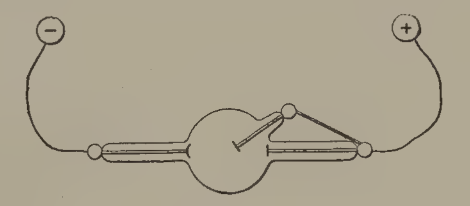


Figure 158.

par des conducteurs unissant directement l'un le pôle négatif à la cathode, l'autre le pôle positif à l'anode ; si le tube est apte à fonctionner ainsi avec la machine, le circuit se trouve parcouru par un courant continu, le tube prend la fluorescence caractéristique et émet des rayons Röntgen avec une égalité d'intensité que ne donne aucun autre moyen de production ;

2° Le tube est placé dans le circuit de la machine, comme dans la méthode précédente, mais entre chacun des pôles et le tube on peut à tout instant interrompre le circuit par un intervalle dans lequel se produit une étincelle qui rétablit le circuit et laisse passer le courant par des intermittences très rapides (fig. 159). Une seule étincelle dans le circuit est suffisante ; il ne semble

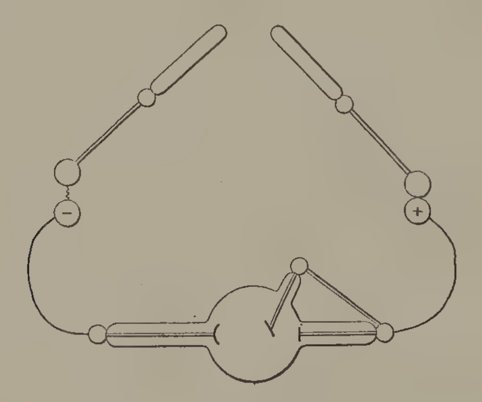


Figure 159.

pas y avoir d'avantage à la placer d'un côté du tube plutôt que de l'autre. On a prétendu qu'il était préférable de placer dans le circuit deux étincelles, une de chaque côté du tube ; mais l'avantage de ce dispositif reste à démontrer ;

3° Chaque pôle de la machine est mis en communication avec l'armature

interne d'une bouteille de Leyde, et les armatures externes sont unies l'une à l'autre par un conducteur très résistant ; une planche réunissant les armatures soit directement, soit indirectement par des chaînes que l'on laisse tomber sur elle remplit bien le but ; la cathode du tube doit être unie à l'armature externe de la bouteille en rapport avec le pôle positif, l'anode avec l'armature externe de la bouteille en rapport avec le pôle négatif (fig. 160). La

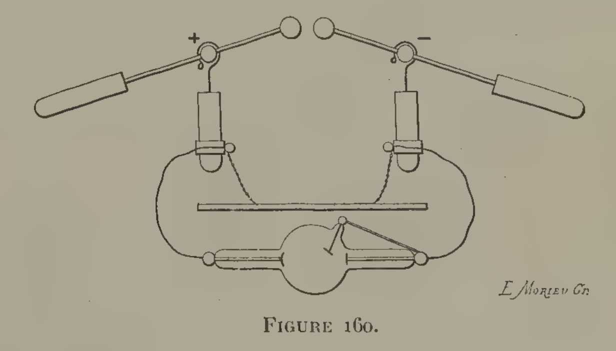


FIGURE 160.

machine étant en marche, et les deux boules polaires en contact, on les éloigne de façon à faire jaillir une étincelle entre elles ; pour une certaine longueur d'étincelle, le tube s'illumine et émet des rayons Röntgen. Si l'on néglige d'établir la dérivation résistante entre les armatures externes, la décharge se fait alternativement tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, et le tube s'illumine mal.

§ 2. — **Comparaison des méthodes.**

La valeur de chaque méthode est essentiellement relative, elle dépend de la machine, du tube et du but que l'on veut atteindre. Avec une machine ayant un débit suffisant, un tube bien choisi s'illuminera brillamment par le courant continu de la première méthode ; étant données la régularité d'émission et la fixité des images qui en est la conséquence, cette méthode est la plus parfaite. Mais il arrive que le tube ne s'amorce pas, ou que l'intensité des rayons émis est trop faible ; en remplaçant le courant continu de la première méthode par la décharge explosive de la seconde, on pourra animer un tube qui ne fonctionnait pas, ou augmenter l'intensité des rayons émis. Avec le dispositif représenté par la figure 159, on commencera avec le courant continu, puis, si le tube ne s'illumine pas, ou trop faiblement, à l'aide du manche d'ébonite d'une des électrodes de la machine, on interrompt le circuit et l'on produit une étincelle dont on règle la longueur de façon à avoir le maximum d'émission. Il arrive souvent d'ailleurs que le tube, étant illuminé par l'introduction de l'étincelle dans le circuit, continue d'émettre des rayons avec intensité alors que l'on a supprimé l'étincelle en rapprochant les boules de l'interrupteur, qui, ainsi, sert à amorcer le tube. Souvent aussi, lorsque le tube ne s'amorce pas, il suffit de le toucher avec la main dans le voisinage

de la cathode pour l'amorcer. On peut l'amorcer en le chauffant avec la flamme d'une lampe à alcool ou d'un bec Bunsen que l'on déplace rapidement au-dessous de lui; mais cette méthode, qui modifie la pression dans le tube et expose à le briser, n'est pas recommandable. On peut amorcer en chauffant les régulateurs de pression, qui permettent de donner aux tubes la résistance que demande la machine statique pour fournir les meilleurs résultats.

Pour comprendre le rôle de l'interrupteur à étincelle, il faut se rappeler que l'émission des rayons Röntgen est une manifestation de l'énergie électrique, W, laquelle est le produit de deux facteurs, la quantité Q et la tension V;

$$W = QV.$$

Pour produire les rayons Röntgen, il faut non seulement une quantité d'énergie suffisante, mais il la faut encore sous un état tel que chacun des deux facteurs de cette énergie ait une certaine valeur au-dessous de laquelle l'émission n'a plus lieu. Si la tension est insuffisante, quelle que soit la quantité d'électricité, elle ne pourra produire de rayons Röntgen; si la quantité d'électricité, si le débit est insuffisant, quelle que soit la tension, on ne pourra obtenir de rayons.

Si un tube est bien adapté à la machine, il s'illumine sans l'introduction d'étincelle dans le circuit et donne immédiatement son maximum de rendement; si le tube a une résistance trop faible, la différence de potentiel n'atteint pas le minimum nécessaire; le tube ne s'illumine pas ou a une émission peu intense; en introduisant dans le circuit une certaine épaisseur d'air, on augmente la résistance, la différence de potentiel entre les pôles de la machine s'élève, et le tube mou s'illumine ou émet un faisceau plus intense de rayons. En allongeant progressivement la longueur de l'étincelle, l'intensité du faisceau émis s'accroît, passe par un maximum, diminue, puis l'émission devient intermittente et cesse lorsque l'étincelle ne peut plus franchir l'espace compris entre les boules de l'interrupteur du circuit. L'illumination du tube et l'augmentation d'intensité du faisceau obtenues d'abord proviennent de l'augmentation de tension qui résulte de l'accroissement de la résistance; mais, à mesure que s'élève la différence de potentiel entre les pôles de la machine, les pertes augmentent, l'intensité du courant diminue et avec elle l'intensité du faisceau émis. D'autre part, à mesure que la tension s'élève, la quantité d'électricité nécessaire pour élever la différence de potentiel des conducteurs jusqu'à la limite nécessaire à la production de l'étincelle, devient de plus en plus grande, il faut plus de temps pour charger les conducteurs, et les étincelles de décharge qui illuminent le tube deviennent intermittentes. Si le tube est immédiatement trop résistant pour la machine, on pourra peut-être l'illuminer par l'introduction d'un intervalle d'air qui élève la tension, mais on atteindra immédiatement la limite à laquelle l'intensité du faisceau émis diminue avec l'augmentation de la tension par diminution du débit.

M. le Dr Béclère a fait des observations fort intéressantes sur les tubes animés par les machines électrostatiques. En mettant en dérivation sur les électrodes des tubes un détonateur à boule de 24 millimètres de diamètre qu'il appelle spintermètre, il a observé qu'avec la plupart des tubes la longueur des étincelles qui peuvent se produire entre les boules du spintermètre pendant le fonctionnement du tube augmente avec la longueur des étincelles du détonateur en série. Mais avec quelques tubes, c'est l'inverse qui se produit, la longueur des étincelles diminuant au spintermètre lorsqu'on l'augmente au détonateur. Pour interpréter ce que l'on peut appeler l'effet Béclère, il faudra tenir compte des variations de la tension, du débit, et aussi du fait, démontré expérimentalement par Oliver Lodge, que les décharges explosives telles que les donnent les détonateurs et les bouteilles de Leyde ne se comportent pas à l'égard des résistances comme le font les courants continus.

En augmentant le diamètre des boules du détonateur, on élève le potentiel des pôles sans accroître la longueur des étincelles et la résistance du circuit; on augmente aussi, d'autre part, la capacité des conducteurs et la quantité d'électricité de chaque décharge. Il est utile d'avoir des boules de différents diamètres, pouvant se substituer les unes aux autres, de façon à choisir celles qui conviennent le mieux à chaque tube.

Il résulte de tous ces faits que les machines électrostatiques, destinées à la production des rayons Röntgen, doivent être disposées de façon à permettre, dans une même séance, l'emploi de la première ou de la deuxième méthode à volonté, par simple déplacement, à l'aide de leurs manches isolants, des électrodes de la machine.

Dans la première et la deuxième méthode, il est inutile d'employer des bouteilles de Leyde, qui peuvent peut-être rendre la décharge plus régulière en augmentant la capacité, mais qui augmentent aussi les pertes de charge.

L'emploi des tubes sans détonateur permet une démonstration expérimentale bien frappante de l'importance capitale qu'il y a à éviter les moindres pertes de charge. Illuminant dans l'obscurité un tube fonctionnant très bien, il suffit d'approcher la main d'un endroit des conducteurs où l'on voit une petite lueur pour que, même à une distance notable, une aigrette se produise entre la main et le conducteur, et le tube s'éteint aussitôt. Cette expérience simple et facile enseignera mieux que toutes les explications à éviter les pertes de charge, à les chercher, à les trouver et à y remédier lorsque la machine ne fonctionne pas.

Dans la méthode qui utilise les courants de décharge des bouteilles de Leyde, le rendement du tube est beaucoup moins sensible aux pertes de charge, on peut sans inconvénient laisser les conducteurs en contact avec la table ou le support de bois du tube ; d'un autre côté, les limites de résistance intérieure des tubes que cette méthode permet d'employer est bien plus étendue que celle de la première méthode. Lorsque l'on augmente

l'écartement des pôles de la machine pour élever la tension, le fonctionnement du tube devient vite intermittent, ce qui est gênant pour la radioscopie. D'un autre côté, par suite de la moindre influence des pertes de charge et d'une adaptation à une plus grande échelle de résistance, le rendement pour la radiographie est souvent plus élevé que par les autres méthodes. Il est utile d'avoir des décharges de quantités variables suivant les tubes que l'on emploie ; pour cela il faut avoir des bouteilles de Leyde de capacités, c'est-à-dire de dimensions différentes, ou bien des bouteilles de Leyde à capacités variables. Les bouteilles employées doivent le plus souvent avoir une très faible capacité, c'est-à-dire être de petites dimensions.

§ 3. — **Radioscopie.**

Un tube placé directement dans le circuit sans étincelle d'une machine électrostatique produit, lorsqu'il fonctionne bien, des images radioscopiques d'une fixité et d'une netteté que ne donne aucune autre méthode. Cette fixité est précieuse pour le diagnostic par la radioscopie : elle permet à l'œil de contempler l'image longtemps e sans fatigue et d'étudier d'une façon plus parfaite les mouvements des organes, surtout de ceux donnant une ombre légère, comme le cœur. Les vacillations de l'image peuvent rendre impossible l'étude radioscopique du mouvement des organes ; sa fixité permet de donner à cette étude une grande perfection.

Pendant un examen radioscopique prolongé, le tube est soustrait à la vue de l'expérimentateur ; il arrive souvent que les tubes animés par les bobines s'échauffent ; parfois l'anticathode fond, et le tube est détruit ; souvent, par suite de l'échauffement, le tube devient mou et n'émet plus que des rayons insuffisamment pénétrants ; ces inconvénients se trouvent évités par l'emploi des machines électrostatiques ; les tubes, quelque prolongé que soit l'examen, conservent une régularité d'émission presque absolue, ce qui est très précieux pour la radioscopie.

Étant donnée l'influence des légères pertes de charge sur l'illumination directe des tubes par les machines statiques, il ne faut point, pour pratiquer la radioscopie, recouvrir le tube d'un voile noir, comme on le fait lorsqu'on emploie les bobines. L'écran pourvu de sa petite chambre noire en pyramide tronquée n'est pas recommandable pour la poitrine, car il ne permet ni les vues d'ensemble, ni les comparaisons de diverses régions vues simultanément. Cette chambre noire portative a l'avantage de pouvoir être utilisée dans les endroits où l'on ne peut faire l'obscurité ; d'autre part, pour l'examen des membres, des fractures, pour la recherche des corps étrangers, elle permet d'examiner facilement dans des directions différentes. Pour l'examen de la poitrine, il faut que l'observateur et le sujet soient séparés du tube par un écran opaque, ou que le tube ait une caisse spéciale en substance bien isolante avec orifice dans des parois d'ébonite pour le passage des

conducteurs. Enfin, pendant l'examen de la poitrine, il serait extrêmement avantageux que le tube pût être facilement déplacé dans toutes les directions par l'observateur, de façon à permettre de pratiquer l'examen sous différentes incidences; l'installation dans ce but emprunte toujours son caractère spécial à la nécessité d'éviter les pertes de charge.

Pour bien voir les images radioscopiques, il faut préalablement séjourner un certain temps dans l'obscurité. M. le Dr Béclère a fait ressortir les grands avantages de cette pratique.

§ 4. — Radiographie.

Étant donné qu'un tube dans le circuit sans étincelle d'une machine électrostatique peut s'illuminer très bien sans donner des rayons de pénétration suffisante pour fournir une bonne radiographie, toute opération radiographique doit être précédée d'un examen radioscopique permettant de constater le bon fonctionnement du tube en même temps que de choisir l'incidence la meilleure pour le but que l'on se propose. Pour fixer la distance on ne se préoccupera que de ne pas déformer l'image de l'ombre projetée, n'ayant presque pas à redouter les accidents tégumentaires. La fixité de l'image n'ayant pas, pour la radiographie, la même importance que pour la radioscopie, on devra préférer le circuit avec étincelle, ou celui avec bouteilles de Leyde, lorsque, comme cela est fréquemment le cas, le tube donne, avec ces méthodes, un meilleur rendement. Les plaques ou pellicules devront être choisies parmi les plus sensibles et, comme dans les opérations ordinaires de la radiographie, enveloppées d'une double feuille de papier noir ou placées dans une cassette appropriée. Les temps de pose avec une bonne machine et un bon tube sont à peu près les mêmes qu'avec les bobines ; si l'on ne possède qu'une petite machine on devra poser deux ou trois fois plus longtemps. Les temps de pose dépendent de circonstances si nombreuses : machine, tube, plaque, opérateur, etc., qu'il est difficile de donner des indications même approximatives ; avec une petite machine à deux plateaux, on peut radiographier une main en une minute ou deux ; un pied en trois à cinq minutes ; un genou, un coude, en cinq à dix minutes ; une poitrine en dix à quinze minutes. Le développement se fait comme pour les plaques impressionnées à l'aide des bobines. On peut réduire les temps de pose par l'emploi des écrans renforçateurs, écrans au wolframate de calcium ou autres ; pour les plaques, on n'emploie qu'un écran placé sur la surface sensible; les pellicules se placent entre deux écrans; on obtient ainsi une impression très rapide, mais des images moins nettes que celles obtenues sans écran. Les radiographies que donnent les machines électrostatiques sont plus nettes que celles que donnent les bobines, ce qui tient à l'absence d'alternances du courant qui anime le tube, mais aussi, ainsi que l'ont montré récemment MM. Infroit et Gaiffe (*Acad. des Sc.*, juillet 1902), à ce que l'électro-aimant de la bobine dévie et disperse les rayons cathodiques, le foyer d'émission

des rayons X, au lieu d'être un point, devient alors une surface irrégulière.

Tous les autres détails des opérations radioscopiques et radiographiques sont les mêmes que lorsque l'on emploie les bobines et se trouveront aux autres chapitres de ce livre.

§ 5. — Effets physiologiques des rayons produits par les machines statiques.

Le chapitre consacré aux accidents attribués aux rayons X et à la radiothérapie traitera complètement ces questions, que nous n'avons à envisager ici qu'au point de vue spécial des machines électrostatiques.

L'emploi des rayons X a donné lieu à de nombreux accidents d'érythème, de dermatite, de véritable mortification de la peau, à la chute des poils et des ongles ; enfin, quelques auteurs ont aussi signalé des accidents viscéraux. Les lésions cutanées ne se montrent qu'un certain nombre de jours après la séance qui les a causées, elles ont pour caractère commun une évolution très lente aussi bien pendant la période de développement que pendant celle de la guérison. M. Destot et d'autres auteurs ont signalé l'innocuité de l'emploi des rayons X produits avec les machines et, malgré quelques cas d'érythème cités comme s'étant produits avec les machines statiques, on a unanimement reconnu que les machines électrostatiques exposaient beaucoup moins que les bobines aux accidents observés dans l'emploi des rayons Röntgen. Ces accidents ont été attribués d'abord aux rayons X, puis à la pénétration dans la peau de particules émanant de l'anticathode de platine (Gilchrist) ; à des rayons calorifiques (Monell) émanant sans doute de l'anticathode rougie ; à des troubles ayant pour point de départ le système nerveux sensitif inconscient réagissant sur la moelle et amenant secondairement les troubles signalés par l'intermédiaire des vaisseaux (Destot) ; à l'électrolyse des tissus par des courants dérivés (Bordier et Salvador) ; à des phénomènes d'influence électrique (Foveau de Courmelle) ; aux effluves dérivés vers le malade (Bergonié). On pourrait énumérer d'autres interprétations, mais leur nombre est suffisant pour montrer que l'expérience n'a pas encore complètement déterminé le mécanisme de la production des accidents et que l'idée que l'on peut s'en faire actuellement n'est point une certitude, mais simplement une opinion.

L'innocuité de l'emploi des machines statiques peut nous éclairer sur la cause des accidents par l'étude des différences qui existent entre elles et les bobines dans la production des rayons Röntgen.

La différence la plus grande, celle qui se présente à l'esprit tout d'abord, c'est que la bobine produit un courant alternatif, et la machine, dans la première méthode au moins, un courant continu. Si le courant des bobines ne traverse le tube que dans un seul sens, il reste alternatif dans le conducteur qui l'amène aux électrodes ; celles-ci sont, par suite, soumises à des variations de potentiel très rapides et très étendues, toujours plus considérables que

celles communiquées par le courant des machines, lorsqu'il est rendu intermittent par une étincelle dans le circuit ou par l'emploi des bouteilles de Leyde. Ces variations de potentiel rapides et étendues déterminent un champ électrique oscillant émanant surtout des électrodes du tube. L'existence de ce champ électrique oscillant autour des tubes animés par les bobines peut être mis en évidence par les moyens propres à l'étude de semblables champs: résonateur de Hertz, téléphone, cohéreur, patte galvanoscopique tubes à vide, etc.; il a surtout été étudié par M. Tarchanoff et par M. Destot, au moyen de la patte galvanoscopique. Ce champ oscillant détermine dans le corps de l'homme des courants induits, qui, avec une forte bobine, se manifestent par un fourmillement sur toute la surface du corps, surtout à la partie inférieure des jambes, où la peau et les nerfs sensibles forment la partie la plus conductrice; si l'on repose sur un sol conducteur, on sent un picotement très sensible de la plante des pieds; enfin, en approchant l'extrémité du doigt d'un endroit sensible du visage d'un autre sujet placé dans le voisinage, on produit une étincelle et l'on provoque une vive sensation. Autour d'un tube animé par le courant continu d'une machine statique, il n'y a pas de champ électrique oscillant, et, lorsqu'on met une étincelle dans le circuit, les oscillations du potentiel des électrodes restent beaucoup plus faibles qu'avec les bobines. Voilà entre les deux modes de production des rayons X une différence bien marquée à laquelle peut être due la différence d'action. Les auteurs ayant écrit sur ce sujet sont unanimes à reconnaître que l'on supprime régulièrement les accidents par l'interposition entre le tube et le corps d'une mince feuille d'aluminium en communication avec le sol, laquelle laisse passer les rayons Röntgen, mais intercepte le champ électrique oscillant pour lequel elle forme un écran. Les accidents se produisent d'autant plus facilement que les tubes sont plus résistants; les oscillations du potentiel des électrodes ont alors plus d'amplitude et sont alors plus aptes à produire un champ électrique oscillant. Enfin, on a constaté des dermatites et des érythèmes produits sans tube de Röntgen, exclusivement par les courants alternatifs de haute tension.

Tout ceci semble bien établir que les actions trophiques et les accidents constatés ne sont pas produits par les rayons X, mais par le champ électrique oscillant. On comprend alors l'innocuité des machines électrostatiques puisqu'elles ne produisent pas ce champ oscillant. Il semble donc qu'il ne faut plus parler des accidents produits par les rayons X, mais bien des effets produits par un champ électrique oscillant. La possibilité de soumettre séparément le corps à l'influence des rayons X et à celle du champ oscillant permettra de préciser de plus en plus les effets de chacune de ces deux influences. Dans un article récent, M. le docteur Oudin attribue les accidents à l'action des rayons X et l'innocuité des machines électrostatiques à la faible intensité des rayons qu'elles produisent.

Docteur Stéphane Leduc,
Professeur à l'École de Médecine de Nantes.

TROISIÈME PARTIE

LE TUBE DE CROOKES CONSIDÉRÉ COMME APPAREIL DE PRODUCTION DES RAYONS X

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS

Tous les tubes de Crookes sont suffisants pour les petits régimes ; les meilleurs sont d'un emploi délicat quand on les utilise avec de grandes puissances. Cependant on peut, par une manipulation méthodique, arriver à employer les tubes bien construits, même en leur demandant des puissances considérables. Nous allons étudier la question à ce point de vue, les principes relatifs aux petits régimes étant les mêmes.

Malheureusement la question n'est pas susceptible d'un exposé vraiment méthodique. Les phénomènes véritables qui se passent dans le tube à vide sont absolument inconnus, on sait seulement qu'ils sont d'une complexité extrême. On peut cependant faire à leur sujet quelques hypothèses, plausibles d'ailleurs, et je me servirai de ces hypothèses pour tâcher de coordonner les faits, mais sans leur accorder cependant un trop haut degré de certitude.

Toutes les difficultés dont nous allons parler sont à peu près supprimées quand, au lieu d'employer la bobine d'induction pour exciter le tube à rayons X, on emploie la machine statique, dont la décharge est, sinon continue, au moins toujours dans le même sens. Mais l'emploi de cette machine ne peut se faire que pour les faibles puissances. Il n'y a pas de machine statique donnant pratiquement les débits considérables dont on a besoin pour la radioscopie difficile ou la radiographie à pose courte ; aussi doit-on savoir à fond les propriétés du tube excité par la bobine d'induction.

§ 1. — Constitution des tubes à rayons X.

Un tube à rayons X se compose d'une ampoule en verre, dont la forme est variable suivant les constructeurs, qui porte une cupule en aluminium destinée à servir de cathode, et une lame inclinée à 45° sur l'axe de la cupule cathodique. Cette lame se nomme *l'anticathode*. Elle est reliée métalliquement à l'anode.

La lame anticathodique reçoit le faisceau de rayons cathodiques, et c'est elle qui est le lieu d'émission des rayons X. Sous l'action des rayons cathodiques, elle est souvent portée à une haute température, et le seul métal qui convienne est le platine iridié. La puissance de la décharge que peut supporter un tube dépend essentiellement de son anticathode ; cette puissance limite est en effet celle qui amène la fusion de l'anticathode. Le platine iridié est le moins fusible des métaux connus, et c'est ce qui motive son emploi. Nous verrons plus loin quels sont les divers procédés qui sont employés pour éviter la fusion de l'anticathode. Ils ne vont pas sans quelques inconvénients, que je ne pourrai étudier qu'après avoir décrit les principales propriétés de la décharge dans les tubes de Crookes. Je renvoie à l'article sur les rayons cathodiques pour l'étude de la forme la plus propice à donner au tube.

§ 2. — Aspect du tube en marche.

Quand les connexions sont bien faites, et que le degré de vide est convenable, c'est-à-dire quand la cupule est bien en relation avec la cathode et qu'il se forme dans le tube un faisceau cathodique net, le tube peut présenter divers phénomènes de fluorescence que l'on peut classer en deux catégories. Les uns sont dus aux rayons cathodiques qui ont échappé à l'anticathode ; qu'ils soient émanés de la cathode elle-même ou des parties voisines, les phénomènes sont essentiellement variables suivant la construction du tube, mais ils ont un caractère commun, c'est qu'ils sont toujours symétriques par rapport à l'axe de la cathode. L'autre phénomène, qui est, au contraire, tout à fait caractéristique du fonctionnement du tube dans le bons sens, quel que soit le type de ce tube, est une illumination verte, hémisphérique, intense, limitée exactement au plan de l'anticathode et due à l'épanouissement des rayons cathodiques en avant de celle-ci.

Quand les connexions sont mauvaises, au contraire, le tube prend un aspect irrégulier, donnant des lignes d'illumination qui dépendent de la forme de l'anticathode. L'aspect de ces lignes varie donc avec la fabrication des tubes, il faut apprendre dans chaque cas particulier à les connaître. Le mieux pour cela est, quand on prend un tube de modèle nouveau, de l'étudier dans les deux sens avec de très faibles décharges. D'ailleurs le type de la décharge dans le mauvais sens est de n'être pas symétrique par rapport à la cathode.

Souvent, quand on ne prend pas les précautions que nous indiquerons ci-dessous, et qu'on excite le tube au moyen de la bobine, le courant induit de fermeture de celle-ci suffit pour faire fonctionner le tube en sens inverse. Il donne alors la superposition de ses deux types d'illumination, et cela est, comme nous le disions tout à l'heure, très mauvais pour le tube ; on dit que le tube *oscille*. Il importe par conséquent beaucoup d'être averti le plus vite possible de l'existence de ce phénomène. Un œil exercé le reconnaît immédiatement à ce que le tube présente des illuminations dissymétriques par rapport à la cathode et distinctes de l'illumination hémisphérique due à l'épanouissement des rayons cathodiques.

Les tubes dans lesquels l'électrode cathodique et l'électrode anodique sont dans le prolongement l'une de l'autre donnent en général des phénomènes d'oscillation très faciles à reconnaître ; il en est de même des tubes bianodiques. Ils sont donc d'un usage commode à ce point de vue. Au contraire, les tubes où les deux électrodes sont à angle droit présentent souvent des phénomènes moins distincts, il faut les regarder de près pour s'assurer de l'existence de l'oscillation, ils sont donc moins commodes à ce point de vue. Nous verrons cependant que des tubes qui ont ce défaut sont souvent fort utiles à cause d'autres propriétés ; mais nous verrons aussi qu'il y a un procédé certain pour se mettre à l'abri de l'oscillation du tube, il faudra donc toujours l'employer quand on aura des tubes du dernier type à employer.

§ 3. — **Étincelle équivalente, tube dur et tube mou.**

La plus simple des données mesurables qui permette de se rendre compte de l'état d'un tube, c'est ce qu'on nomme son *étincelle équivalente*. Quand on met deux pointes A et B en dérivation sur un tube (fig. 161), et qu'on approche ou qu'on éloigne l'une de l'autre ces deux pointes au moyen d'un manche isolant, on trouve que, pour les distances inférieures à une

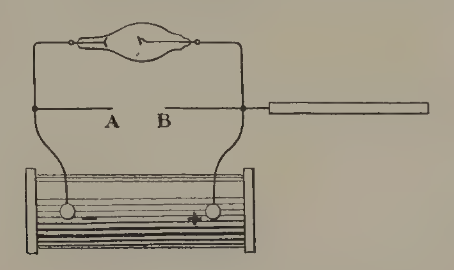


FIGURE 161.

certaine limite, la décharge se fait sous forme d'étincelle dans l'air, et que le tube s'illumine très mal ou ne s'illumine pas du tout ; au contraire, pour les distances supérieures à cette limite, le tube est parcouru par la décharge, l'étincelle ne passant plus dans l'air. La limite précédente est

ce qu'on nomme l'étincelle équivalente du tube, et on comprend qu'elle caractérise l'état d'un tube donné, puisqu'elle indique que la décharge aime mieux, à ce moment, traverser l'air sous forme d'étincelle que le tube.

Quand, en effet, on prend un tube déterminé, et qu'on l'amène, par un procédé quelconque, à avoir une étincelle équivalente déterminée, on remarque que ses propriétés, au point de vue des rayons X, sont bien déterminées ; on obtient la décharge d'un même corps électrisé dans le même temps, la bobine excitatrice étant dans les mêmes conditions ; on obtient le même éclat sur l'écran fluorescent ; on obtient des radiographies identiques.

Le problème pratique de la radiographie et de la radioscopie consiste donc à amener un tube donné à une étincelle équivalente donnée.

Un tube est dit *dur* quand son étincelle équivalente est longue, et *mou* quand elle est courte.

Il ne faut pas croire d'ailleurs que l'étincelle équivalente soit liée simplement au degré de vide ; elle est liée, comme Villard l'a montré, à la facilité de production du faisceau cathodique. Deux tubes de formes différentes soudés sur la même trompe peuvent donner en même temps, l'un le simple phénomène de Geissler, l'autre le phénomène de Crookes et la production de rayons X. Le premier aura une étincelle équivalente d'une fraction de millimètre ou de quelques millimètres, alors que l'autre aura une étincelle de 10 ou 15 centimètres peut-être.

En conséquence, un même tube peut avoir une étincelle équivalente très longue quand il fonctionne dans un sens, et une beaucoup plus courte quand il fonctionne en sens inverse. C'est ce qui se produit toujours dans la pratique avec les tubes actuels à rayons X.

On ne peut pas comparer entre eux avec sécurité deux tubes différents au moyen de leur étincelle équivalente. Cependant tous les tubes actuellement en usage ont à peu près les mêmes propriétés quand ils ont la même étincelle équivalente.

Outre l'étincelle équivalente, une autre donnée caractérise un tube, c'est la longueur d'étincelle minima que doit donner la bobine d'induction pour que la décharge par rayons cathodiques se produise. Les deux longueurs d'étincelle ne sont pas identiques. On peut cependant dire d'une manière générale que l'étincelle limite de décharge est courte dans les tubes mous et longue dans les tubes durs.

L'étincelle équivalente d'un tube n'est pas d'ailleurs une donnée aussi caractéristique qu'on pourrait le penser. Quand, en effet, on cherche cette étincelle pour un tube donné en modifiant la puissance de la bobine, on s'aperçoit que l'étincelle équivalente augmente parfois énormément quand la puissance dépensée dans la bobine augmente elle-même. J'ai vu souvent l'étincelle équivalente d'un tube passer de 7 ou 8 centimètres, pour une dépense de 5 ampères sous 20 volts environ au primaire, à 15 ou 18 centimètres pour une dépense de 15 ampères sous 60 volts.

Il semble bien que la nature des rayons X émis par un tube dépend non de son degré de vide lui-même, mais de la valeur de l'étincelle équivalente qui lui est donnée par la source électrique mise en œuvre, c'est-à-dire qu'un tube qui donnera, à faible puissance, des rayons peu pénétrants, donnera, à grande puissance, des rayons pénétrants, en même temps qu'il donnera avec une énergie plus grande les rayons X peu pénétrants correspondant à la puissance faible. Peut-être y a-t-il là une fonction physique à déterminer, analogue à celle de l'émission d'un corps noir pour la lumière. Un fait peut permettre de penser qu'il en est ainsi, c'est qu'on ne peut presque jamais obtenir la même finesse de détail, ni la même pureté de cliché avec de très grandes puissances et de courtes poses que par l'emploi de moyens plus faibles avec un temps de pose plus long. La netteté moindre est due à l'augmentation du diamètre de la tache anti-cathodique ; mais on ne peut attribuer le voile qui se forme facilement qu'à des rayons nouveaux. Il ne faut cependant pas croire que cette difficulté soit insurmontable ; il est probable que ce n'est là qu'une affaire de choix convenable des tubes et de mise au point de celui-ci ; mais la question n'est pas encore débrouillée. J'ai cru cependant devoir l'indiquer, à titre d'hypothèse.

En somme, l'étincelle équivalente nous apparaît comme un phénomène dynamique. Si la puissance dépensée sur un tube est trop grande, il s'opposera à la décharge par une propriété qui, au premier abord, semble analogue à une résistance ou à une force contre-électromotrice, mais qui certainement est de nature beaucoup plus complexe que ces deux constantes physiques simples, puisqu'elle dépend de la puissance, comme la résistance d'un fluide au mouvement d'un corps matériel.

Cette donnée, comme nous venons de le voir, est donc bien imparfaite ; elle ne nous renseigne que sur l'état d'un tube déterminé, quand le régime auquel il est soumis ne varie que dans des limites restreintes ; mais c'est la plus commode des données précises dont on puisse faire usage ; c'est donc à elle que nous nous rapporterons toujours.

Radiochromomètre de Benoist. — On peut cependant utiliser souvent avec profit le radiochromomètre de Benoist, dont la description ne relève pas de cet article, et qui permet, en comparant la transparence d'une lame d'argent d'épaisseur déterminée avec celles de diverses lames d'aluminium d'épaisseurs variables, de connaître l'état du tube au point de vue des rayons X. Cet appareil n'a qu'un inconvénient, c'est d'exiger l'obscurité au moins relative pendant la marche de la radiographie. Si on emploie la lunette radiochromométrique avec laquelle l'obscurité n'est plus indispensable on a l'inconvénient général de toutes les observations à la lunette, c'est de ne pouvoir surveiller en même temps tout le reste de l'expérience.

§ 4. — Fonctionnement du tube pendant sa construction.

Évacuation électrique des gaz. — Nous allons maintenant étudier la façon dont un tube se comporte pendant qu'on le construit ; nous trouverons là les données nécessaires pour comprendre en grande partie ce qui se passe quand le tube est mis en service.

L'ampoule, une fois soufflée et munie de ses électrodes, est soudée sur un appareil composé d'une pompe et d'une trompe à mercure. Je renvoie aux traités de physique pour la description de ces appareils, ainsi que de la jauge de Mac Leod, au moyen de laquelle on mesure à chaque instant le degré de vide, même quand il atteint l'ordre du micron de mercure, ce qui est le moment où, avec les formes usuelles, le phénomène de Röntgen se produit.

On pourrait croire, au premier abord, que, lorsque la jauge de Mac Leod indique une pression de 1 millionième d'atmosphère environ, le phénomène de Crookes va s'y produire, ainsi que celui de Röntgen, le tube conservant une étincelle équivalente donnée ; il n'en est rien, ou du moins si le phénomène se produit pendant un instant, on voit immédiatement l'aspect de la décharge changer et le tube reprendre l'illumination du gaz en masse caractéristique des pressions relativement hautes. L'étincelle équivalente passe en même temps de quelques centimètres à une fraction de millimètre. En même temps encore, la jauge indique que la pression a beaucoup augmenté dans le tube. Le changement d'aspect est donc dû à des gaz qui ont été dégagés sous l'action de l'excitateur électrique, et qu'il faut entraîner de nouveau. On observe que ce phénomène se reproduit plusieurs fois, mais toujours avec une intensité décroissante. Enfin, après plusieurs opérations de cette nature, le tube prend un fonctionnement plus permanent. Un tube ne peut être en équilibre sous un régime de décharge donné que quand il a été soumis à ce régime pendant un certain temps, quand il a dégagé de ses électrodes et de ses parois les gaz dont la présence en ces points n'est pas compatible avec le régime électrique. Nous n'avons aucune donnée précise sur l'état des gaz qui se dégagent ainsi. L'analyse spectrale y montre toujours une grande quantité d'hydrogène ; mais nous en sommes réduits à des hypothèses sur l'état, avant la décharge, de cet hydrogène et des gaz qui l'accompagnent, ainsi que sur le mécanisme de son expulsion.

On sait que les métaux contiennent des gaz occlus, et une partie des gaz dégagés provient certainement de là. Mais il est certain que le verre des parois entre pour une grande part dans le phénomène, soit par les gaz chimiquement combinés qui peuvent être libérés par les décharges, soit par les gaz ou l'eau adhérents aux parois. On sait en effet que rien n'est plus difficile que de dessécher vraiment une surface de verre. Il y a toujours une mince couche d'eau qui y reste adhérente, et certainement une partie de l'hydrogène libéré dans le tube provient de la décomposition de cette eau.

Métallisation. — En somme, il faut, pour avoir un tube en état de fonctionner, recommencer plusieurs fois à faire passer la décharge en continuant à faire le vide. Mais un nouveau phénomène peut se produire si on ne prend pas de précautions, c'est l'évaporation électrique de Crookes, la pulvérisation du métal des électrodes, qui se dépose sur les parois de verre. Le tube devient complètement noir, et son utilisation ultérieure devient impossible. Le phénomène se produit essentiellement quand la pression est relativement élevée, au moment où l'illumination en masse est accompagnée de quelques phénomènes de fluorescence dus aux rayons cathodiques. Il faut donc éviter de faire fonctionner un tube à cet état, et, par conséquent, il faut lui faire rendre ses gaz par petits à-coups très modérés et fréquemment répétés, de manière à ne jamais arriver au degré de vide dangereux.

Nous allons voir au paragraphe suivant la métallisation se produire dans les tubes formés, mais elle est beaucoup moins rapide que dans le cas actuel.

Évacuation calorifique des gaz. — Quand l'opération a été bien conduite, on obtient ainsi un tube où le faisceau cathodique est assez stable pour arriver à faire rougir l'anticathode. A ce moment, la pression baisse encore dans le tube, et l'illumination en masse reparaît, les gaz occlus dans l'anticathode se dégageant sous l'action de la chaleur. Il faut recommencer les mêmes opérations que précédemment, en faisant rougir chaque fois l'anticathode et avec les mêmes précautions. En même temps, le tube tout entier s'échauffe, et le verre rend aussi des gaz. On active notablement cette période de la formation du tube en chauffant ses parois au moyen d'un bec Bunsen. La flamme de celui-ci doit être de grandes dimensions et très molle. On ne court pas le risque, dans ces conditions, de faire éclater le tube, ce qui arriverait si on le chauffait avec une petite flamme dure.

§ 5. — Tube formé.

Durcissement. — Quand le tube est arrivé à ce point, les phénomènes changent complètement. Au lieu de mollir quand on fait passer le courant, le tube durcit, et il durcit en général d'une manière régulière. Il y a donc consommation de gaz par le fonctionnement. La question de savoir ce que deviennent les gaz ainsi transformés est encore tout à fait obscure. Gouy a montré qu'aux points frappés par les rayons cathodiques le verre devenait susceptible de dégager par échauffement des bulles de gaz microscopiques. En même temps, on voit le verre changer de couleur, indiquant qu'il y a une réduction de ce corps, avec libération de manganèse. Je renvoie à l'article de Villard pour la description de ces phénomènes, qui sont certainement liés au durcissement du tube de Crookes. La vitesse avec laquelle monte l'étincelle équivalente est d'ailleurs très variable. Elle dépend d'un grand nombre de conditions inconnues, au sujet desquelles on en est réduit à l'hypothèse. Il y a des

tubes qui, maintenus utilisables par les procédés que nous allons indiquer, restent très longtemps bons, d'autres qui arrivent beaucoup plus vite à l'état où le durcissement est assez rapide pour rendre leur emploi impossible. Les tubes sont alors en général couverts du dépôt noir de métallisation dont il a été question ci-dessus. Il est probable que dans ces conditions les gaz sont absorbés très énergiquement par la couche de métal pulvérulente adhérente aux parois. Ceci est démontré par le fait connu que quand on perce un tube métallisé, et qu'on cherche à y refaire le vide après avoir bouché le trou d'un coup de chalumeau, l'opération est presque impossible ; on ne peut arriver à purger convenablement les parois, la quantité de gaz occlus à la pression atmosphérique par le platine déposé étant énorme. Il faut alors laver le tube à l'eau régale bouillante avant d'y refaire le vide. C'est là une opération ennuyeuse, et on peut dire qu'il ne vaut pas la peine de refaire un tube qui a été métallisé et crevé. Il vaut mieux le briser et faire resservir les pièces de platine encore en bon état. On peut dire que le signe auquel le radiographe reconnaît la qualité d'un tube de type déterminé est la couleur de ses parois ; quand elles sont encore claires, le tube est bon ; quand elles sont noires, le tube est d'un emploi difficile. Il ne faut d'ailleurs pas confondre la couleur noire due à la métallisation avec la couleur violacée obtenue normalement par l'action des rayons cathodiques sur le verre. Celle-ci, outre sa couleur différente, est nettement limitée au plan de l'anticathode, au-dessus duquel aucun rayon cathodique diffusé ne vient frapper le verre.

On voit donc que la première question est de savoir éviter la métallisation des tubes.

Procédés pour éviter la métallisation. — Les métaux ne subissent pas également le phénomène de l'évaporation électrique. L'aluminium est, de tous, celui qui le subit le moins facilement ; le platine, au contraire, subit le phénomène avec la plus grande facilité.

Il est à remarquer que le signe de l'électrode ne semble pas avoir grande influence, mais que le rôle essentiel est joué par la chute de potentiel par unité de longueur autour de l'électrode, c'est-à-dire par la valeur de la force électrique. Dans les tubes actuellement en usage la chute de potentiel se produit essentiellement autour de la cathode, aussi est-ce sur celle-ci que l'évaporation électrique se produit. Quand, au contraire, on emploie deux petites pointes très voisines au centre d'un ballon évacué, on voit l'usure se produire sur l'anode. Mais, dans les conditions pratiques actuelles, on peut dire que la métallisation d'un tube est toujours produite par l'évaporation électrique de la cathode. C'est pour cela que les cathodes sont actuellement constituées par des cupules en aluminium, ce métal étant celui qui se volatilise électriquement le moins.

L'anticathode étant constituée par du platine iridié, on comprend le danger qu'il y a à faire fonctionner un tube en sens inverse, c'est-à-dire en prenant la lame de platine iridié comme cathode. Quelques secondes d'usage

dans ces conditions peuvent mettre hors d'usage un tube excellent.

Mais le mauvais montage du tube n'est pas le seul danger au point de vue de la métallisation, il faut craindre aussi les oscillations normales de la bobine d'induction quand on emploie ce moyen d'excitation.

On sait que cet instrument donne un courant dans un sens à la fermeture du circuit primaire, et un courant de sens opposé à la rupture de celui-ci. L'énergie disponible dans ces deux courants est exactement la même, mais la forme de cette énergie est très différente : dans le courant de fermeture, le potentiel aux bornes du secondaire est très peu élevé ; dans le courant de rupture, le potentiel aux bases du secondaire est au contraire très élevé.

Si les tubes étaient symétriques, s'ils avaient la même étincelle équivalente et la même différence de potentiel limite de décharge dans les deux sens, on comprend aisément que l'on pourrait, en leur donnant un degré de vide convenable, empêcher complètement la décharge en sens inverse due au courant de fermeture dont le potentiel est beaucoup plus bas que celui du courant de rupture.

Mais les tubes actuels sont beaucoup plus mous quand ils fonctionnent en sens inverse que quand ils fonctionnent dans le sens direct ; aussi le problème est-il beaucoup plus complexe. Quand on n'emploie que des décharges peu puissantes, inférieures notablement aux décharges limites que peut supporter l'anticathode sans fondre, le potentiel dû au courant de fermeture de la bobine n'est pas assez élevé pour que la décharge se produise dans ce sens, et pour que l'évaporation électrique prenne naissance. Les tubes peuvent alors fonctionner pendant un temps très long en conservant leurs propriétés. Cependant, à la longue, la métallisation finit toujours par se produire.

Elle peut aussi avoir lieu quand le tube devient trop dur. Quand, en effet, une bobine d'induction fonctionne à circuit ouvert, il s'y produit des oscillations de potentiel amorties, mises en évidence par Mouton, chacun des pôles changeant de signe un certain nombre de fois à chaque fermeture ou à chaque rupture du primaire. Si le tube est alors tel que son étincelle limite dans le sens normal soit supérieure à celle que donne la bobine, la décharge ne se produira pas ; mais alors les oscillations de Mouton prendront naissance ; et, si l'étincelle limite pour le tube fonctionnant en sens inverse est inférieure à la différence de potentiel correspondant à la deuxième oscillation de Mouton, la décharge nuisible se produira. Ce phénomène est d'une observation rare, mais, comme il me semble s'être produit sous mes yeux deux ou trois fois, j'en signale ici la possibilité.

Comme les tubes facilement utilisables durcissent toujours en fonctionnant, on n'est donc pas à l'abri de la métallisation en toute sécurité, quand on n'introduit pas dans le circuit une soupape de Villard, dont je vais dire maintenant un mot.

Soupape de Villard. — Cet auteur a observé que le faisceau cathodique se formait le mieux dans un tube quand l'afflux cathodique y était le

plus facile, ce qui a lieu quand la cathode est de grande surface et se trouve placée au milieu d'un large espace évacué. Non seulement cette forme est la meilleure pour la décharge cathodique, mais même le phénomène de Geissler y est beaucoup plus aisé. C'est ainsi que, quand on constitue un tube (tube de gauche, fig. 163), par une large ampoule terminée par un tube étroit et étranglé, qu'une des électrodes est une grande spirale d'aluminium située au centre de la grande ampoule et l'autre une étroite électrode située derrière l'étranglement, le tube se comporte très différemment suivant le sens de la décharge quand le degré de vide est convenable. Si on prend la grande spirale comme cathode, le tube présente le phénomène de Geissler, avec une étincelle équivalente de 2 à 3 millimètres. Si, au contraire, on inverse les connexions, la petite électrode devenant cathode, la décharge prend la forme de Crookes, et l'étincelle équivalente est de 10 à 15 centimètres. Il est bien évident que le degré de vide doit être compris entre des limites convenables pour que le phénomène se produise.

Supposons donc maintenant qu'une pareille soupape soit placée dans un circuit, en série avec un tube à rayons X, la petite électrode en communication métallique avec la cupule cathodique du tube, et le reste des connexions comme l'indique la figure 162 ; on comprend immédiatement que l'étincelle limite pour l'ensemble des deux tubes sera la somme des étincelles limites pour chacun d'eux. Donc si l'étincelle limite du tube de Crookes

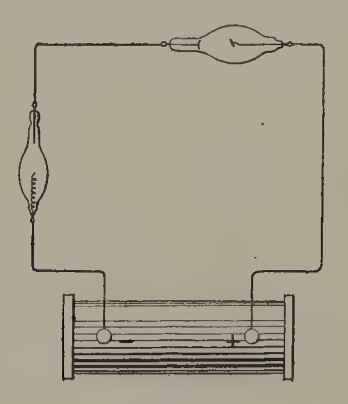


FIGURE 162.

est 10 centimètres dans le bon sens et 2 centimètres en sens inverse, on voit que l'étincelle limite totale du circuit sera de 10 cm. 5 dans le bon sens et de 12 à 17 centimètres dans le mauvais, c'est-à-dire que la décharge passera dans le bon sens presque aussi facilement que si la soupape n'existait pas, et que l'étincelle limite, considérable pour le fonctionnement en sens inverse, s'opposera tout à fait aux décharges dans ce sens, qui ont toujours un potentiel beaucoup moins élevé que les décharges dans le sens normal.

On peut aussi utiliser le montage de la figure 163. Dans certains cas, on emploie le montage en batterie (fig. 164). Supposons une soupape ayant

une étincelle limite supérieure à celle du tube de Röntgen dans un sens et inférieure dans l'autre; montons-les comme dans la figure 164; la décharge dans le bon sens passera dans le tube à rayons X, et la décharge dans le mau-

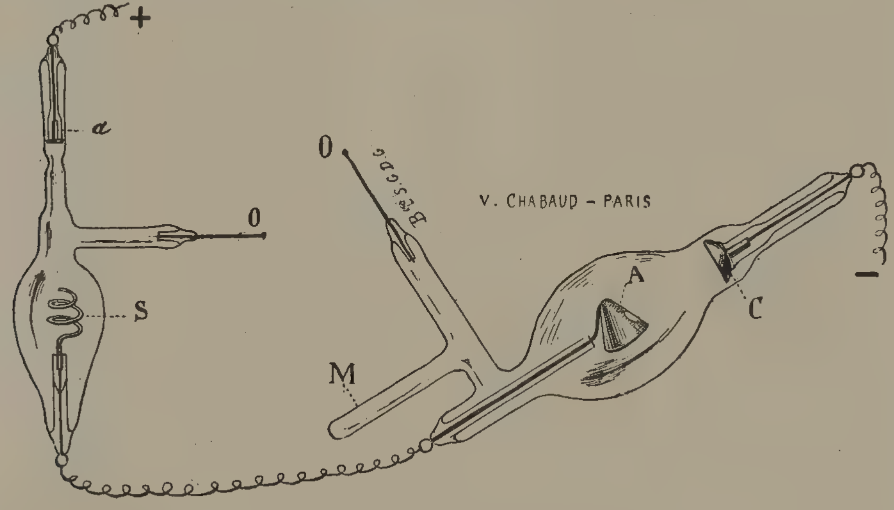


FIGURE 163.

vais illumine la soupape. Mais le montage exige un réglage parfait du vide de la soupape et de celui du tube, qui rend son emploi plus délicat. On doit donc employer le premier montage en série ou le second.

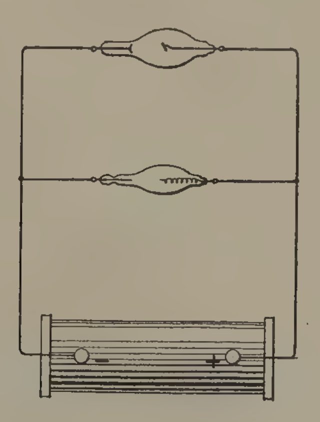


FIGURE 164.

Quand on emploie ce procédé, on est complètement à l'abri de la métallisation, et les tubes, même poussés avec des moyens puissants, peuvent avoir des centaines d'heures de durée, d'un usage commode.

Dangers du durcissement d'un tube. — Nous avons vu que, quand un tube est au point convenable, il durcit légèrement en fonctionnant. Ce durcissement a peu d'inconvénients, quand il est lent, au point de vue

de l'emploi du tube. Si l'étincelle équivalente, par exemple, passe de 8 à 10 centimètres dans le cours d'une pose de 1 à 2 minutes, cela n'a aucun inconvénient grave, la nature des rayons X émis étant peu modifiée. Mais à la longue, l'étincelle équivalente montant, le tube deviendra d'abord moins bon pour la radiographie, puis enfin la décharge jaillissant dans l'air le long des parois, celles-ci pourront être crevées. Les trous se forment presque toujours en avant de la cathode, là où se produit la chute rapide du potentiel, sur un espace de 1 à 2 centimètres. On peut souvent voir le petit trou à la loupe, et le reboucher avec un coup de chalumeau. Si le tube n'est pas métallisé, on peut alors y refaire le vide, et cela en vaudra la peine, s'il est de bonne construction.

§ 6. — Régénération des tubes.

Chauffage du tube. — Aux débuts des rayons X, on ne connaissait pas d'autre moyen, pour régénérer un tube qui durcissait, que de le chauffer avec un bec Bunsen. Ce procédé est excellent, mais il n'a pas de souplesse. Il faut en effet arrêter le fonctionnement du tube chaque fois qu'on a besoin de chauffer et on est toujours exposé à casser l'instrument. De plus, la durée qu'on donne ainsi à un tube est assez limitée. Il semble que les gaz sont véritablement consommés pendant le fonctionnement, formant des composés chimiques tout à fait stables. On ne donne alors par l'échauffement qu'une durée de plus en plus courte au tube, et celui-ci arrive peu à peu à ne pouvoir plus descendre au-dessous d'une étincelle équivalente donnée, qui devient de plus en plus longue quand le tube vieillit. Aussi, dans les débuts, employait-on pour la radiographie, qui demande des tubes mous, exclusivement des tubes neufs ; on les conservait pour la fluoroscopie quand ils vieillissaient. Mais, au bout d'un nombre d'heures très peu considérable, quand la bobine employée est un peu puissante, le tube devient tout à fait inutilisable. On peut arriver à le faire partir, mais l'étincelle équivalente monte en peu de secondes à des limites inadmissibles.

Ce procédé est cependant encore employé, conjointement avec d'autres dont nous allons parler. Il faut donc en connaître le mode d'emploi. Nous avons déjà dit qu'il fallait chauffer également tout le tube avec une grande flamme molle en évitant de toucher le tube avec le métal du bec, si peu que ce soit, et en évitant aussi d'approcher la flamme trop près des soudures.

Les divers tubes ne rendent d'ailleurs pas leur gaz avec la même facilité. La nature du verre, le degré d'épuisement du tube sont des facteurs importants. Il faut, en chauffant progressivement, apprendre à connaître son tube. On serait en effet exposé à faire passer à l'état de tube de Geissler un tube relativement neuf, si on le chauffait autant qu'il serait nécessaire de

chauffer un tube vieux pour le rendre à peine utilisable. Un tube amené à cet état peut être gravement compromis, et, dans tous les cas, il n'est plus immédiatement utilisable. Quelquefois un tube chauffé et adouci ainsi reste à cet état en refroidissant; quelquefois, au contraire, il durcit de nouveau par le repos. Ce dernier phénomène m'a semblé en général être le propre des tubes vieux, mais je n'avance cela que sous toute réserve. Il semble qu'un tube abandonné pendant de longs mois après un service notable durcisse toujours. En somme, on ne peut utiliser avec sécurité qu'un tube employé quotidiennement ou à peu près. Quand on n'aura pas d'emploi obligatoire, il faudra malgré cela faire fréquemment fonctionner le tube.

Durcissement d'un tube trop mou. Cas général. — Quand un tube est trop amolli pour une raison quelconque, le procédé général à employer est de le faire fonctionner. Mais cela ne peut s'appliquer avec sécurité que si le circuit est muni de la soupape de Villard ; sans cela l'oscillation du tube se produirait, et avec elle la métallisation. C'est en effet aux pressions relativement hautes que celle-ci est le plus à craindre. Il faut d'ailleurs, dans ces conditions, opérer d'abord à faible intensité, car l'échauffement du tube est considérable, et en employant de l'énergie on pourrait ou bien faire fondre l'anticathode, ou bien, si les choses n'allaient pas jusque-là, faire dégager par échauffement de nouveaux gaz qui augmenteraient encore la pression. Cette opération ne peut réussir que si elle est menée avec la plus grande patience.

Régulateurs de vide. Osmo-régulateur. — De ce qui précède, il résulte que, les gaz étant consommés par le fonctionnement des tubes, le but essentiel à poursuivre est de pouvoir en introduire de nouveau quand le tube durcit. Le problème était très difficile à résoudre, car les pressions à réaliser sont des fractions de millionième d'atmosphère. Il faut donc pouvoir, dans un tube de un demi-litre, introduire des fractions de millimètre cube de gaz pris sous la pression atmosphérique. Plusieurs procédés ont été employés. Le premier en date a consisté dans l'emploi d'une électrode auxiliaire en palladium, dont on faisait dégager les gaz en la prenant comme cathode ; puis on a employé un morceau de potasse placé dans un petit logement où on pouvait le chauffer avec un bec Bunsen ou une lampe à alcool. Mais tous ces procédés sont maintenant abandonnés, on emploie partout l'osmo-régulateur de Villard. Grâce à cet osmo-régulateur, les tubes ont maintenant une vie presque illimitée, et on peut maintenir leur degré de vide même en marche. C'est seulement depuis l'emploi de cet appareil qu'on peut être certain de la réussite d'une radiographie. Auparavant, on pouvait déjà arriver à des résultats en radioscopie, où on voit à chaque instant sur l'écran ce qui se passe, mais on ne pouvait être certain du résultat d'une pose radiographique.

Sainte-Claire-Deville a montré que le platine porté au rouge se laisse traverser par certains gaz, et particulièrement par l'hydrogène et l'oxyde de carbone. Quand il est refroidi, il tient parfaitement le vide. Villard a

alors songé à souder dans un coin du tube de Crookes un petit tube de platine fermé à son bout externe, et en communication par son extrémité ouverte avec l'intérieur du tube de Crookes. Si on porte ce tube au rouge dans une atmosphère d'hydrogène et d'oxyde de carbone à une pression supérieure à la pression intérieure, l'hydrogène et l'oxyde de carbone pénétreront osmotiquement dans le tube. Si, au contraire, la pression extérieure de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone est inférieure à la pression intérieure,

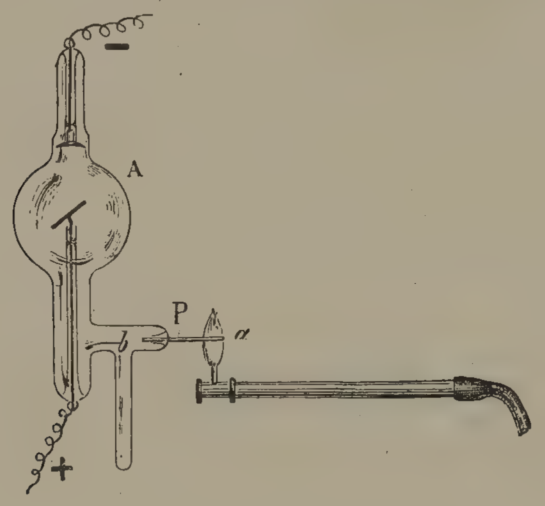


Figure 165.

le phénomène inverse se produira, les gaz sortiront du tube. C'est de ce mode de fonctionnement par osmose que vient le nom d'osmo-régulateur.

D'un autre côté, dans la flamme du bec Bunsen la vapeur d'eau se trouve dissociée dans la partie la plus chaude. Chauffons donc le tube de platine mis en communication avec l'espace évacué au moyen de la flamme d'un bec Bunsen ;

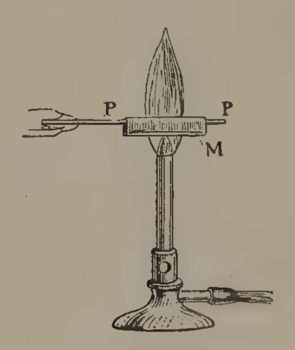


Figure 166.

celui-ci, s'il est bon, portera le tube au rouge blanc ; l'hydrogène passera à travers le platine, et augmentera la pression intérieure du tube de Crookes (fig. 165). Au contraire, enveloppons maintenant le tube de platine d'un deuxième tube

plus grand, et chauffons celui-ci par l'extérieur (fig. 166). Dans ces conditions, l'osmo-régulateur au rouge blanc sera en contact par l'extérieur avec une atmosphère qui ne contient pas d'hydrogène, et, par l'intérieur, avec l'atmosphère du tube, et c'est l'hydrogène de celui-ci qui sortira.

On comprend donc qu'avec cet appareil on puisse augmenter dans tous les cas la pression du tube de Crookes, et la diminuer dans le cas où les gaz qui la produisent sont de l'hydrogène ou de l'oxyde de carbone ; mais on comprend aussi que, la pression intérieure du tube étant très faible, le passage en sens inverse soit beaucoup plus lent. Il faut en effet à peu près une demi-heure pour évacuer le gaz introduit en chauffant pendant cinq secondes environ à feu nu.

Il faut d'ailleurs employer des becs Bunsen différents pour les deux opérations. Il faut dans les deux cas des brûleurs à flamme dure et très chaude. Mais, dans le premier, il faut une très petite flamme, et dans le second une flamme plus grande. En effet, il faut éviter de chauffer trop près de la soudure du platine au verre, qui est toujours un point fort délicat ; il est donc bon d'avoir un petit chalumeau pour le chauffage direct, d'autant plus que celui-ci devra être fait rapidement, et même en cours de marche, quand on verra l'étincelle équivalente du tube monter au delà de la limite voulue. On pourra opérer ainsi en utilisant un brûleur muni d'un manche isolant en ébonite par exemple, d'une trentaine de centimètres de long.

Dans le second cas, au contraire, il faut chauffer le capuchon de platine de grandes dimensions qu'on place sur l'osmo-régulateur ; il faut donc une flamme plus grande, et il suffit, pour garantir la soudure, de ne pas amener le capuchon chauffé au rouge en contact avec elle. Cette opération, vu sa longueur, ne se fera jamais à la main ; il n'y aura donc aucun danger de casser le tube en la faisant.

D'ailleurs, un opérateur exercé et qui possède une bonne installation n'aura jamais à exécuter cette opération inverse, une fois que le tube aura été convenablement réglé. Elle n'est utile que dans les tâtonnements du début, et aussi quand on veut utiliser pour la fluoroscopie un tube parfaitement réglé pour la radiographie.

Réglage de la soupape. — La soupape est également munie d'un osmo-régulateur. En effet, quoique, dans son usage normal, elle fonctionne avec l'aspect d'un tube de Geissler, elle durcit en fonctionnant, exactement comme un tube. Cela peut devenir nuisible, car, quand sa résistance augmente, l'illumination du tube devient moins bonne d'une part, et la soupape est en danger de crever, comme le tube lui-même, quand il est dans les mêmes circonstances. Le seul aspect de la soupape suffit d'ailleurs pour suivre ce qui se passe ; elle prend en effet, en durcissant, la coloration verte caractéristique de la décharge de Crookes.

La soupape est encore utilisable au moment où elle prend une légère coloration verte. Mais à ce moment, il faut lui donner du gaz au

moyen de son osmo-régulateur. Il ne faut pas s'attendre à adoucir une soupape aussi vite qu'un tube de Röntgen, les variations de pression correspondant à des variations de régime données y sont beaucoup plus grandes. Il n'est pas rare qu'on soit obligé de donner du gaz par l'osmo-régulateur pendant une minute avant de produire sur la soupape un effet notable. Aussi n'est-il pas d'une bonne pratique de régler la soupape pendant la marche même. D'ailleurs, l'opérateur a assez à faire pour surveiller le tube lui-même, et la soupape ayant, comme nous venons de le dire, une bien plus grande tolérance que le tube, on n'a besoin de s'en occuper que rarement ; une soupape bien réglée permet toujours de faire un assez grand nombre de radiographies sans être touchée. Il faut donc la régler de temps en temps avant de commencer une opération. Le réglage se fera en plaçant la soupape seule sur la bobine, et en mesurant constamment son étincelle équivalente dans les deux sens pendant qu'on lui donnera du gaz.

Montage du tube et de la soupape. — Nous venons de voir comment on pouvait régler un tube et une soupape. La première chose à faire est de munir chacun d'eux d'un excitateur à étincelles muni d'un long

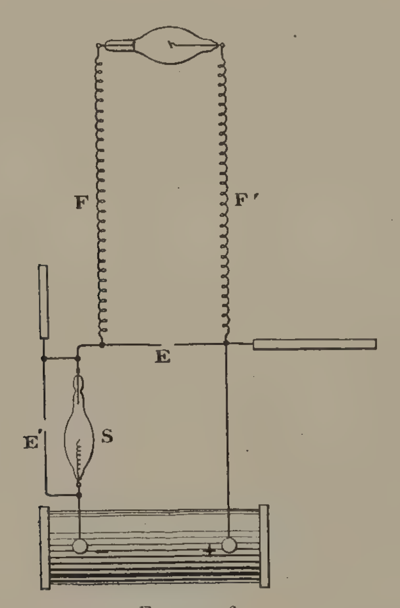


FIGURE 167.

manche d'ébonite, de façon à pouvoir prendre constamment la longueur de son étincelle équivalente. Il faut ensuite chercher la polarité de la bobine avant d'envoyer son courant dans le tube à rayons X. Le mieux pour cela est de se servir de la soupape, si elle est à un degré de vide convenable. La spirale est en communication avec le pôle négatif, quand l'étincelle équivalente est courte. Quand on n'a pas de soupape à sa disposition, ou que le réglage de la soupape n'est pas bon, on peut encore savoir où est le

pôle négatif au moyen d'un phénomène indiqué par Villard. On munit les deux pôles de la bobine de deux fils fins d'un métal quelconque, qu'on rapproche jusqu'à ce que l'étincelle se transforme en un arc. L'un des deux fils fond alors, c'est celui qui est à la cathode.

La polarité de la bobine étant ainsi connue, le montage doit être fait comme l'indique la figure 167, où E et E′ désignent les mesureurs d'étincelle.

Je ne saurais trop recommander de donner aux fils F et F′ une grande longueur, et de les faire passer sur des isoloirs élevés; de la sorte le sujet étant placé au-dessous du tube sera à grande distance de l'étincelle, qui jaillira de temps en temps, et l'opérateur pourra se placer entre l'excitateur et le tube, et manœuvrer d'une part le mesureur d'étincelle avec sa main gauche, et d'autre part le chalumeau de l'osmo-régulateur de la main droite.

CHAPITRE II

APPLICATION DE CES DONNÉES A LA TECHNIQUE DE LA RADIOGRAPHIE ET DE LA RADIOSCOPIE

§ 1. — Conduite d'une opération.

Nous supposerons maintenant que le tube est convenablement réglé et qu'il subira le phénomène normal du durcissement en marche. Nous savons que, pour l'objet que nous voulons radiographier, la longueur d'étincelle doit être comprise entre des limites données. Nous amenons le tube, en le chauffant tout entier, par exemple, à avoir l'étincelle équivalente, limite inférieure convenable à l'objet à radiographier, puis nous écartons les deux tiges de l'excitateur jusqu'à la limite supérieure. La bobine étant mise en fonctionnement, nous surveillons attentivement l'étincelle équivalente, et aussitôt que nous voyons des aigrettes apparaître aux points de l'excitateur E, nous chauffons l'osmo-régulateur avec le chalumeau approprié, en ayant soin de tâter constamment l'étincelle équivalente pendant cette opération. On tâte l'étincelle en rapprochant les pointes E (fig. 167) jusqu'au moment où une étincelle jaillit, et en les écartant aussitôt rapidement, pour que la décharge passe dans le tube. Il faut toujours tâter l'étincelle toutes les trois ou quatre secondes, quand le tube ne durcit pas très vite, afin d'être sûr qu'il ne mollit pas, ce qui se produit parfois quand on emploie de grandes puissances, et que le tube n'est pas parfaitement mis au point.

Mise au point d'un tube. — Dans ce cas, en effet, les phénomènes sont souvent très complexes, si le tube a été formé avec une puissance moindre que celle avec laquelle on l'utilise. Il commence en général par durcir très vite, assez vite même pour qu'on ne puisse lui fournir assez de gaz par l'osmo-régulateur pour que sa dureté ne devienne pas dangereuse; on est alors obligé d'arrêter le fonctionnement de la bobine quelques secondes toutes les fois qu'on rend du gaz. Puis, après 15 à 30 secondes de ce régime, le tube prend un fonctionnement régulier. Son anticathode est alors portée à très haute température, et ses parois aussi, et, subitement, le tube devient tout à fait mou; il tombe à 2 centimètres environ d'étincelle équivalente.

Les gaz sont alors dégagés par échauffement, mais il est probable que ce n'est pas l'échauffement de l'anticathode qui joue le rôle principal, car les phénomènes sont les mêmes avec les tubes à anticathode refroidie, dont nous parlerons tout à l'heure. L'inspection du tube montre d'ailleurs que c'est autour de la cathode que se produit l'échauffement anormal.

Quand on essaie de chasser les gaz ainsi produits au moyen de l'osmo-régulateur fonctionnant en sens inverse, on ne peut pas y arriver ; cela prouve que ce n'est ni de l'hydrogène, ni de l'oxyde de carbone. Le seul moyen utilisable consiste à faire fonctionner le tube patiemment, sous un petit régime. Au bout de plusieurs minutes, l'étincelle équivalente remonte, pour atteindre après une vingtaine de minutes les 10 ou 12 centimètres normaux.

On continue alors avec la grande puissance, et les mêmes phénomènes se reproduisent, mais avec une différence. L'accroissement de dureté du début est beaucoup moins brusque, et la chute consécutive se produit au bout de 25 à 30 secondes au lieu de 15 à 20 secondes. De plus, l'étincelle ne tombe alors brusquement qu'à 2,5 ou 3 centimètres, au lieu de 2 centimètres que nous avions la première fois. Nous voyons donc que quand on fait accomplir à un tube le cycle complet des régimes que lui fait prendre une bobine puissante, il devient plus utilisable après un premier cycle. Si on recommence cinq ou six fois les opérations indiquées, on a un tube qui fonctionne normalement, permettant de poser deux minutes et plus. Il faut environ deux heures de patience pour l'amener à cet état. A mesure qu'on se sert du tube de la manière rationnelle qui a été indiquée, il arrive à résister de plus en plus au régime puissant auquel on le soumet.

Il est bien entendu qu'on ne peut mettre en pratique la méthode ci-dessus que si une soupape de Villard est introduite dans le circuit. Sans cela le tube oscillerait quand il est très mou et se métalliserait immédiatement. Au moins, pour éviter cet inconvénient, faudrait-il employer une décharge tellement faible que l'opération serait d'une longueur trop grande pour être pratique. Au contraire, avec l'emploi de la soupape, les tubes soumis à ce régime ne présentent aucune trace de métallisation. Ils ont une coloration violette intense dans l'hémisphère situé au-dessus de l'anticathode ; mais, comme nous l'avons vu, c'est là un phénomène tout à fait distinct de la métallisation.

§ 2. — Résistance des tubes au fonctionnement.

Comme nous l'avons déjà dit au début, ce qui limite la puissance utilisable dans un tube, c'est avant tout la nécessité de ne pas fondre l'anticathode. Il n'est pas rare en effet de voir celle-ci fondre en donnant un trou au point frappé par le faisceau cathodique. Aussi ne peut-on employer pour les forts régimes que des tubes présentant des anticathodes de platine iridié larges et épaisses. Il est bon aussi que le faisceau cathodique frappe juste

au-dessus de la soudure du support, pour mieux profiter de la conductibilité de celui-ci. Il est utile que le ballon soit de grandes dimensions, l'échauffement étant toujours moindre dans ce cas.

Anticathode refroidie. — On a essayé de refroidir énergiquement l'anticathode, et deux procédés ont été essayés. Dans le premier, on soude l'anticathode sur une grosse masse métallique. Dans le second, qui est le meilleur, l'anticathode forme le fond d'un tube de platine de 1 cm. 5 de diamètre, soudé dans la paroi du tube de Crookes, et dans lequel on met de l'eau. Quand l'énergie employée est suffisante, celle-ci entre en ébullition, et par conséquent la paroi de platine qui est en contact avec ne peut pas dépasser notablement 100°. On peut alors pousser un tube de cette espèce autant qu'on le veut.

Le tube réservoir d'eau est bien entouré sur toute sa hauteur d'un tube de verre. Mais cette enveloppe isolante ne l'empêche pas de fonctionner comme une large électrode, et l'inconvénient de ces tubes est de présenter une résistance très faible au courant inverse. De plus, il faut un œil très exercé pour reconnaître s'ils oscillent, leurs électrodes étant rectangulaires. Ils se métallisent donc très facilement, sauf quand on leur adjoint une soupape. Avec cette précaution, ils sont d'un usage aussi commode que les autres. Sans soupape, même avec des bobines peu puissantes, ils sont hors d'usage en très peu de temps.

En somme, l'emploi des tubes à anticathode refroidie ne sera indispensable que dans des cas particuliers, car on n'a pas besoin de longues poses quand on emploie les moyens puissants d'excitation des tubes. C'est surtout pour la radioscopie que leur usage s'impose, car dans ce cas la durée de l'examen est toujours grande. Quand la puissance dépasse une certaine limite, l'anticathode des tubes ordinaires peut arriver à fondre en très peu de secondes. Dans ces conditions, le tube à anticathode refroidie est le seul qui puisse être employé.

§ 3. — Longueurs d'étincelle équivalente.

Je terminerai ce court exposé des propriétés du tube de Crookes, en donnant les longueurs d'étincelle équivalente les plus propices pour les diverses radiographies :

La main, 6 à 8 centimètres ;

Le thorax, 8 à 12 centimètres ;

Le bassin et le crâne, de 12 à 15 centimètres.

Ce sont ces dernières étincelles équivalentes qui sont les meilleures pour la fluoroscopie ; d'ailleurs, dans ce cas, le mieux est de se laisser guider par l'observation elle-même.

Docteur A. Broca,
Professeur agrégé à la Faculté de Médecine,
répétiteur à l'École polytechnique.

QUATRIÈME PARTIE

ÉTUDE PHYSIQUE DES RAYONS X

I. — ÉTUDE GÉNÉRALE DES RADIATIONS.

Les radiographes ont besoin, outre la pratique de leur art, de connaître ce que l'on sait actuellement sur la nature des rayons X ; ils ont besoin aussi de pouvoir apprécier sainement les théories qui ne manqueront pas d'être émises. Ce premier point de vue rend utile un exposé succinct des questions de physique qui embrassent le champ dans lequel les chercheurs croient actuellement pouvoir trouver des indications sur la nature des rayons X.

Les rayons X, par beaucoup de leurs propriétés, se rapprochent des radiations, dont une partie constitue la lumière. Citons l'excitation de la fluorescence, la production des rayons secondaires, la décharge des corps électrisés, l'impression de la plaque photographique. L'absorption des rayons X semble bien se faire comme pour les radiations. Il est donc utile pour les radiographes de connaître les propriétés de la lumière que nous venons d'énumérer, et nous allons les exposer dans ce qui suit, en commençant par les principes de mécanique qui ont servi de base à la théorie ondulatoire de la lumière. Nous tâcherons de faire ressortir combien les raisons pour classer les rayons X à côté de la lumière sont probables, et quelles mesures il faudrait tâcher de faire pour donner de cette hypothèse une preuve correcte. Cette étude ne sera d'ailleurs pas sans fruit pratique pour les radiographes. Ils ont en effet fréquemment à se retrouver dans un dédale de faits complexes, provenant de la complexité très grande des rayons X. Ils doivent donc se rendre compte des propriétés des faisceaux de radiation complexe, et, à ce point de vue encore, ils ont besoin de prendre pour guide ce qui a été fait au sujet des radiations ordinaires.

CHAPITRE PREMIER

DÉFINITION DES ONDULATIONS

§ 1. — Données élémentaires sur les principes généraux de mécanique.

La physique a pour but d'étudier quantitativement quand elle le peut, et qualitativement dans tous les cas, les échanges d'énergie qui se produisent entre les corps. La physique moderne est basée sur le principe de la conservation de l'énergie, d'après lequel toutes les fois qu'un corps subit une modification, il y en a un autre qui subit une modification équivalente. Nous appelons énergie tout ce qui permet à un corps de modifier d'une façon quelconque les corps ambiants.

La façon dont l'énergie se transmet se comprend parfois immédiatement. C'est ainsi que, quand un corps animé de vitesse rencontre un autre corps, il lui transmet du mouvement, en perdant lui-même de la vitesse. Quand un corps modifie ainsi le mouvement d'un autre corps, on dit qu'il s'exerce une force entre les deux, et on définit la force : *Tout ce qui peut modifier l'état de repos ou de mouvement d'un corps.*

Quand une même force agit sur divers corps animés de la même vitesse, elle ne modifie pas leur vitesse de la même façon. On dit que les divers corps ont des *masses* différentes. La masse est proportionnelle à l'accélération donnée au corps par une force donnée au bout d'un temps donné.

Quand on prend une force agissant sur un corps dans le sens même de son mouvement, on dit que cette force produit un *travail*, qui est égal au produit de la force par le chemin parcouru par son point d'application. L'unité est le travail produit par 1 kilogramme déplacé de 1 mètre ou 1 kilogrammètre. On démontre mathématiquement, et on vérifie expérimentalement, que le travail dépensé sur un corps est égal à l'accroissement du produit $\frac{1}{2} mV^2$, où m est la masse du corps et V sa vitesse. Ce produit est ce qu'on nomme la *force vive* du corps.

C'est là l'exemple le plus simple de deux quantités qui, quand on prend pour les définir des unités convenables, sont égales, quoique de natures différentes. Dans le phénomène simple de l'action d'une force sur un corps, nous assistons à la dépense d'un travail et à la production d'une force vive, ou, inversement, à la dépense d'une force vive et production d'un travail ; la dépense d'une unité de travail correspond toujours à la production d'une unité de force vive. On dit que le travail et la force vive sont deux formes de l'énergie.

Quand un corps dépense du travail sur un autre, il peut le faire d'une infinité de façons : si la force agissante entre les deux corps est très faible, le travail transmis pourra être très grand, s'il agit pendant un temps assez long. Si la force agissante est très grande, le travail sera très grand, même si l'action dure peu de temps. On est donc obligé de considérer la *puissance* d'un système, c'est-à-dire la quantité de travail ou de force vive qu'il dégage par seconde.

§ 2. — **Force vive et chaleur.**

Quand on cherche à vérifier le principe des forces vives, on le trouve en défaut dans un grand nombre de cas. Mais on voit alors que, dans la plupart des cas, si une force vive disparaît sans donner naissance à un travail équivalent, il y a production de chaleur, en quantité proportionnelle à la force vive disparue (1). Ici on n'a pas défini pratiquement les unités de chaleur et de force vive ou de travail de manière à ce qu'une unité de chaleur corresponde à la disparition d'une unité de force vive ou de travail, car la définition des unités était faite longtemps avant l'énoncé du principe de la conservation de l'énergie. L'unité de chaleur ou calorie, quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température de 1 kilogramme d'eau, est équivalente à 425 kilogrammètres. Le nombre 425 se nomme l'équivalent mécanique de la calorie. Sa valeur varierait si on changeait soit l'unité de chaleur, soit l'unité de travail.

Voilà ce qu'on peut donner comme exemple de phénomènes très simples où les transformations d'énergie se produisent par le contact immédiat de deux corps.

§ 3. — **Phénomènes ondulatoires.**

Les phénomènes d'ondulation des eaux nous montrent l'existence d'un élément de plus. Quand un mouvement périodique d'un corps A se produit en un point d'une nappe d'eau, la ride produite se transmet dans l'eau avec

(1) Dans le cas où de la force vive disparaît sans production équivalente de chaleur, on a toujours jusqu'ici pu mettre en évidence l'emploi de l'énergie équivalente, par exemple dans la production de réactions chimiques endothermiques, ou dans celle d'un champ électrique ou magnétique.

une certaine vitesse, et elle agit sur un flotteur B au moment où elle le rencontre. On voit que le corps A a agi sur le corps B, *médiatement*, par l'intermédiaire d'une ride ou *onde* propagée dans le liquide. On ne peut produire un mouvement en un point d'un corps sans que la déformation ainsi produite ne s'étende aux parties voisines. C'est ce qu'on exprime en disant que les corps sont *élastiques*, et ce dont on se fait une image en les supposant constitués par des molécules qui agissent les unes sur les autres. Les effets de l'élasticité sont multiples. Un corps légèrement déformé reprend, quand on l'abandonne à lui-même, sa forme primitive, et ce retour se fait par des ondulations amorties. L'amortissement se fait en partie parce que le frottement des diverses parties du corps les unes sur les autres produit de la chaleur, en partie parce que l'énergie du mouvement se transmet aux molécules voisines en donnant naissance à une onde.

Nous avons ici à considérer quatre éléments pour déterminer complètement le transport d'énergie de A à B. : 1° le temps qui s'écoule entre deux instants consécutifs où une molécule, ébranlée par le passage de l'onde, traverse sa position d'équilibre avec des vitesses dirigées dans le même sens ; 2° le temps que l'énergie a mis à se propager de A à B ; 3° la grandeur de l'énergie reçue par B quand celle émise par A est connue ; 4° la position de la trajectoire d'une molécule liquide déplacée par rapport au front de l'onde. Étudions ces quatre éléments.

1° On voit tout d'abord que le temps qui sépare deux instants consécutifs où une molécule quelconque du liquide traverse sa position d'équilibre avec des vitesses dirigées dans le même sens est égal au temps employé pour le même parcours par le corps A mis en mouvement. La *période* du mouvement transmis est la même que celle du mouvement excitateur.

2° Le temps mis par le mouvement pour se transmettre de A en B est toujours le même, quelle que soit la période du mouvement vibratoire propagé, si l'amplitude de celui-ci est petite. Le quotient de ce temps par la distance AB est ce qu'on nomme *la vitesse de propagation* de l'ébranlement.

3° Nous ne pouvons, dans le cas grossier que nous considérons, obtenir expérimentalement la valeur de l'énergie transmise en B quand on connaît celle que A émet à chaque seconde. Nous verrons ci-dessous des vérifications expérimentales dans des cas plus complexes de ce que nous allons dire ici de théorique.

Chaque seconde, le corps A dépense sur le milieu auquel il transmet son ondulation une certaine quantité d'énergie, qui se transmet sous forme de force vive pour la formation de l'onde. Si nous considérons une onde sphérique O autour du point A, cette onde transmettra chaque seconde à la région extérieure précisément la quantité d'énergie que lui envoie le centre d'ébranlement A (fig. 168). Cette quantité d'énergie est la même quelle que soit l'onde O. Or, si on considère deux ondes différentes, elles ont des surfaces en raison inverse du carré de leur rayon. Donc l'énergie transmise à travers deux ondes étant la même, la quantité d'énergie transmise *par unité*

de surface de chacune d'elles est en raison inverse du carré de leur rayon. Un corps B reçoit donc du point A, par l'intermédiaire des ondes O, une quantité d'énergie par seconde en raison inverse du carré de la distance AB.

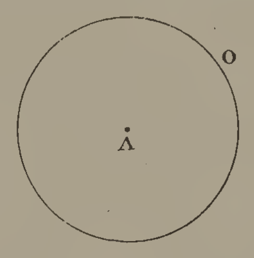


FIGURE 168.

4° Dans le cas des ondes produites à la surface des liquides, les déplacements sont tangents à la surface de l'onde et situés par conséquent sur la surface de l'onde elle-même. On dit que ce sont des *vibrations transversales*.

Si nous prenons l'exemple du son, nous voyons encore, au moyen des expériences classiques, qu'il est dû à un ébranlement de la source sonore, qui se transmet à l'air ambiant et, par l'intermédiaire de celui-ci, à la membrane de notre tympan, ou à celle du phonautographe. Ici encore nous trouvons une vitesse de propagation indépendante de la période d'oscillation, et l'accord de la période de la vibration transmise avec celle de la source. La loi qui relie l'énergie reçue au carré de la distance à la source sonore se vérifie encore ; mais la position de la vibration par rapport à l'onde n'est plus la même que tout à l'heure, elle est longitudinale, c'est-à-dire normale à l'onde.

La théorie de l'élasticité a montré que ces résultats étaient la simple conséquence de l'hypothèse que les mouvements transmis étaient de très petite amplitude. Elle a montré aussi qu'on peut toujours, dans un milieu quelconque, considérer l'existence de deux espèces de mouvements, les uns transversaux, les autres longitudinaux, qui, dans le même milieu, doivent se transmettre avec deux vitesses différentes, les longitudinaux se propageant plus vite que les transversaux. On a pu vérifier cela par l'expérience dans des tiges de bois.

Hypothèse sur la nature des rayons X. — J'insiste sur ces faits, car, au début de la découverte des rayons X, on a émis l'opinion qu'ils devaient être dus à des ondulations longitudinales de l'éther lumineux. Cette hypothèse a, d'ailleurs, été avancée sans aucune preuve.

Actuellement, ceci ne peut plus se soutenir, Blondlot ayant montré que les rayons X se propagent avec la vitesse de la lumière. On voit en effet, par ce qui précède, que les vibrations longitudinales devraient avoir une vitesse de propagation plus grande que les transversales.

CHAPITRE II

THÉORIE ONDULATOIRE DE LA LUMIÈRE. — ÉTHER

Définissons maintenant, par ses propriétés essentielles, la radiation. C'est une forme de l'énergie dans laquelle on a mis en évidence, comme nous le verrons tout à l'heure, l'existence d'une période caractéristique et d'une vitesse de propagation qui, dans l'espace interplanétaire, est indépendante de la période et égale à 300.000 kilomètres par seconde environ. Cette forme de l'énergie est donc due à une onde identique, au moins au point de vue de la répartition dans l'espace, aux ondes liquides ou aux ondes sonores dont nous venons de parler. Mais la propagation se fait dans le vide ; la matière pondérable ne peut donc jouer qu'un rôle secondaire, et comme nous sommes habitués à nous représenter tous les phénomènes par des images mécaniques, nous supposons que, même dans le vide absolu, il y a encore un milieu impondérable que l'on nomme *éther*, et par lequel s'effectue la transmission de l'énergie radiante. Cette hypothèse se présente avec un aspect très satisfaisant. En effet, on vérifie expérimentalement toutes les conclusions de la théorie de l'élasticité appliquée à l'éther. Mais cependant il faut avouer que nous ne pouvons avoir à ce sujet aucune certitude, car, si nous avons la certitude de l'existence d'ondes transmettant de l'énergie, nous n'avons pu mesurer ni la densité, ni l'élasticité de ce milieu hypothétique.

Voyons maintenant les propriétés caractéristiques des radiations.

§ 1. — Diversité des radiations. — Spectre.

Notre œil nous apprend que la lumière existe, et que certaines sources donnent une lumière que nous appelons blanche et d'autres de la lumière que nous nommons colorée. On sait aussi depuis longtemps que, quand on examine de la lumière blanche ayant traversé certains corps, elle peut donner naissance à des phénomènes colorés.

C'est à Newton qu'on doit d'avoir étudié de près cette dernière question, et d'avoir montré que la lumière du soleil était due à la superposition d'un nombre infini de *radiations* ayant chacune une individualité propre. Ce n'est pas ici le lieu de discuter à fond la question, je donnerai seulement les résultats essentiels (1).

Quand on regarde à travers un prisme une fente lumineuse mince parallèle à l'arête, on voit que le rayon lumineux est dévié et étalé ; la bande ainsi formée présente avec une extrême vivacité les couleurs de l'arc-en-ciel Cette bande colorée se nomme un *spectre*. La partie la moins déviée de l'image est rouge, la partie la plus déviée est violette ; entre les deux s'étend une série de teintes dégradées sans discontinuité, dans lesquelles Newton a distingué les couleurs principales suivantes : *violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge*.

Chacune de ces couleurs correspond à une lumière parfaitement déterminée aussi bien au point de vue objectif qu'au point de vue subjectif. Je ne répète pas ici la description des expériences de Newton qui ont démontré le fait indépendamment de toute théorie, je renvoie aux traités de physique pour l'expérience des prismes croisés et celle des prismes successifs. Retenons ce fait que chacune des couleurs qui composent le spectre est caractérisée par son *indice de réfraction* par rapport à une substance donnée.

Mais c'est là une caractéristique assez peu commode, car les indices ne varient pas suivant la même loi dans les diverses substances. Entrons plus avant dans la théorie mécanique, et nous trouverons, en même temps qu'une idée plus approfondie sur l'énergie lumineuse, idée qui nous sera utile dans la suite, une manière plus sûre de caractériser les radiations.

§ 2. — Système de l'émission et système des ondulations.

Newton avait cru pouvoir expliquer tous les phénomènes de l'optique en les supposant dus à l'émission par les corps lumineux de particules douées de vitesses considérables, dont le choc sur la rétine produisait la sensation de lumière. Nous ne nous attarderons pas à expliquer les phénomènes dans cette hypothèse, nous décrirons les phénomènes qui ont amené Fresnel à émettre l'idée que la lumière était due à une vibration de ce milieu hypothétique dont nous avons parlé ci-dessus.

La première expérience dont nous parlerons est due à Newton lui-même, c'est celle des *anneaux colorés*.

Anneaux colorés. — L'expérience de Newton consiste en ceci : soit une lame terminée, d'un côté, par une face plane et, de l'autre, par une face

(1) Je supposerai connues la définition du rayon lumineux, ainsi que les lois de la réflexion et de la réfraction, pour lesquelles je renvoie aux traités de physique élémentaires.

courbe ABCD et un rayon incident xM faisant partie d'un faisceau parallèle. Il va se réfléchir en partie suivant My ; une autre partie se réfractera suivant MN, puis sortira dans le premier milieu suivant M'y'. Il y aura dans cette même direction un autre rayon dû à la réflexion directe de x'M', si nous supposons, ce qui est toujours le cas, que le rayon de courbure CD est très

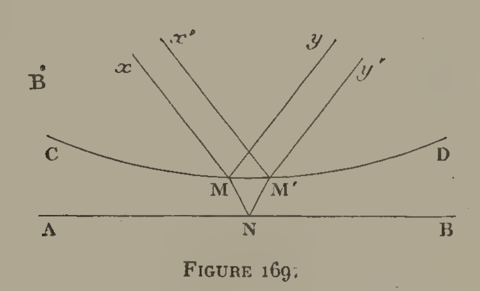


FIGURE 169.

grand. Le point M' sera donc vu, par un observateur placé dans la direction du rayon réfléchi, grâce à la superposition de ces deux lumières dues l'une à xMNM', l'autre à x'M' (fig. 169).

L'expérience montre, quand on opère avec de la lumière rouge, l'existence d'anneaux alternativement clairs et obscurs correspondant aux lignes d'égale épaisseur de la lame, et, quand on se place dans des conditions où on peut mesurer les épaisseurs, on voit que celles qui correspondent à la courbe moyenne des anneaux clairs sont en progression arithmétique, et de même pour celles qui correspondent aux courbes moyennes des anneaux sombres. Si on prend de la lumière jaune, les anneaux sont plus serrés qu'avec la rouge, ils sont plus resserrés encore avec la lumière verte et plus encore avec la bleue.

Si on opère en lumière blanche, on comprend que, sur chaque ligne d'égale épaisseur, les intensités résultantes sont variables avec les couleurs, et qu'alors on doit avoir production d'un anneau ayant une certaine couleur résultante.

L'expérience montre de la façon la plus nette que *de la lumière ajoutée à de la lumière peut produire de l'obscurité.*

Dans la théorie de l'émission, l'explication de ces phénomènes exige une série d'hypothèses fort peu satisfaisantes, au lieu que, dans les idées ondulatoires, cela se comprend facilement.

Propagation d'une onde. Définition de la longueur d'onde. — Si, en effet, il existe en un point M une cause qui donne à ce point M une vitesse MV, et une autre qui donne au même point une vitesse MV', on

V ⟵——— M ———⟶ V'

FIGURE 170.

comprend que le point M reste immobile (fig. 170-171). Considérons mainte-

nant un mouvement ondulatoire se propageant avec une certaine vitesse V, cela veut dire que si le point A commence à vibrer au temps t, le point B commencera à vibrer au temps $t + \frac{AB}{V}$, et comme nous admettons, ce qui est évident, que la période du mouvement transmis est la même en tous les points, nous voyons que les points A et B auront toujours entre eux un retard

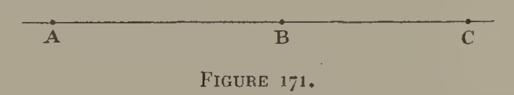


FIGURE 171.

de vibration ou, comme on dit, une différence de phase de $\frac{AB}{V}$. Expliquons cela par une courbe. Représentons le déplacement d'un point qui vibre par une courbe dont les abscisses (o, x) sont les temps, et les ordonnées (o, y) sont

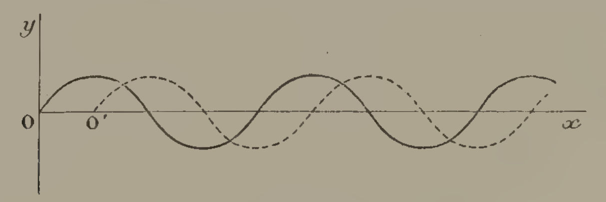


FIGURE 172.

les déplacements. La vibration sera analogue à la courbe en trait plein. D'après ce que je viens de dire, si cette courbe représente le mouvement de A, le temps étant sur la ligne des abscisses, celui de B sera représenté par la même courbe déplacée d'une longueur $\frac{AB}{V}$. Soit OO′ cette longueur; la courbe sera alors la courbe pointillée. Supposons maintenant que OO′ soit égal à la demi-période T du mouvement; les deux courbes seront disposées

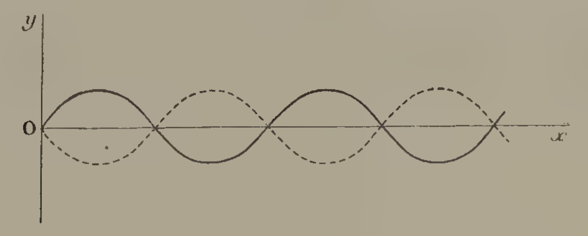


FIGURE 173.

comme sur la figure 173. Dans ce cas, les deux points A, B ont toujours des déplacements et, par conséquent, des vitesses égaux et de signes contraires. La longueur AB (fig. 171), qui est telle que $\frac{AB}{V} = \frac{T}{2}$, T étant la période du mouvement, se nomme la *demi-longueur d'onde*. Si l'on s'éloignait d'une

longueur AC = 2 AB on trouverait, d'après ce qui précède, un point vibrant

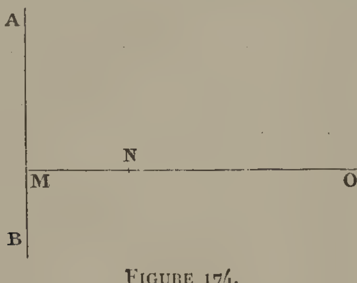


FIGURE 174.

synchroniquement avec A (fig. 173). La distance des deux points vibrant synchroniquement se nomme la longueur d'onde du mouvement.

Interférences.— Supposons maintenant (fig. 174) un point O envoyant sur le miroir AB une onde qui se réfléchit en M ; il y aura en avant du miroir superposition au point N, par exemple, d'une onde issue directement de O, ayant suivi le chemin ON, et d'une autre onde ayant suivi le chemin ON + NM + MN. Si donc NM + MN est une demi-longueur d'onde ou un multiple impair d'une demi-longueur d'onde et si on suppose que dans le trajet NMN l'onde ne s'affaiblit pas notablement, il n'y aura aucun mouvement en N. Si, au contraire, NM + MN est un multiple pair d'une demi-longueur d'onde, il y aura maximum de mouvement. Ces expériences ne peuvent se faire qu'avec des ondes concordantes, c'est-à-dire issues d'une même source.

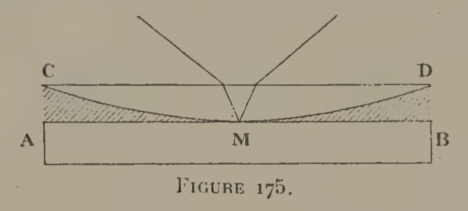


FIGURE 175.

Young le premier montra que cette théorie donne l'explication immédiate des anneaux colorés ; mais il y a avec l'expérience une contradiction apparente. Quand on prend (fig. 175) une lentille appliquée sur un plan, l'épaisseur traversée dans la lame d'air comprise entre les deux au point de contact M et

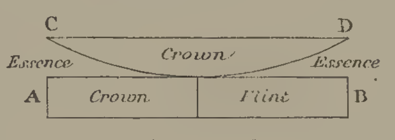


FIGURE 176.

par conséquent la différence de phase entre les deux rayons sont nulles. Le point M doit paraître, par réflexion, blanc. Il paraît noir au contraire. Young alors montra que c'est là un phénomène dû à une propriété de la réflexion. *Quand un rayon se réfléchit sur un milieu plus réfringent, il perd une demi-période.*

Il fit l'expérience par le dispositif de la figure 176. Un plan est constitué par un flint et un crown collés ; on amène le point de contact d'une lentille de crown avec ce plan sur la ligne de séparation. On voit alors les anneaux ordinaires à centre noir. Puis on fait glisser par capillarité une goutte d'un mélange d'essence de lavande et de girofle d'indice 1,55 dans l'espace ABCD. On voit alors les anneaux du crown rester les mêmes et ceux du flint devenir à centre blanc. En effet, la lentille est en crown, et les rayons de la région de flint ont subi deux réflexions d'un milieu moins réfringent à un plus réfringent. L'aspect du phénomène devient celui de la figure 177.

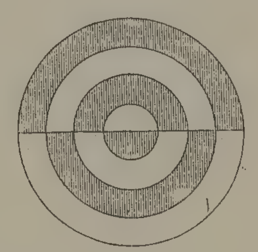


FIGURE 177.

Mais ces expériences ne convainquirent pas les partisans de l'émission, car ils ne comprenaient pas la possibilité de l'existence de la polarisation, dont nous allons parler, avec le seul système d'ondulations dont on comprenait alors la transmission dans un milieu fluide, je veux dire les ondulations de l'espèce de celles du son dans l'air, les ondulations longitudinales, normales à l'onde.

C'est à Fresnel que revient l'honneur d'avoir mis hors de doute l'existence dans la lumière des vibrations situées dans le plan de l'onde transversale, comme celles des cordes vibrantes ; nous y reviendrons tout à l'heure. Nous passons sous silence l'expérience des deux miroirs de Fresnel et celle des trois miroirs, qui, au fond, démontrent exactement la même chose que les expériences de Young, avec plus de rigueur, mais en outre permettent d'agir avec des faisceaux interférents séparés sur une partie de leur trajet. On peut alors étudier les retards produits par les lames des substances différentes interposées sur le trajet d'un des rayons et mesurer ainsi les rapports des vitesses de la lumière dans ces lames et dans l'air par le retard qu'elles produisent.

Longueur d'onde lumineuse. — Ces expériences permettent de définir avec précision la *longueur d'onde* d'une lumière. Il y a des procédés au moyen desquels cette quantité se mesure avec une précision presque infinie. Nous donnerons tout à l'heure le principe de l'un d'eux, il nous suffit maintenant d'avoir établi la notion fondamentale de la longueur d'onde. C'est cette quantité physique qui caractérise les diverses radiations des spectres dont Newton avait démontré l'individualité. Nous ne définirons plus jamais une radiation que par la valeur de sa longueur d'onde.

§ 3. — **Diffraction.**

La théorie ondulatoire trouve une vérification précieuse dans les phénomènes de diffraction. Comme ils ont un intérêt au point de vue de la théorie des rayons X, nous allons en donner un aperçu aussi précis qu'on peut le faire sans employer le calcul.

Quand on emploie la théorie de l'émission, ou quand, ce qui est équivalent, on se sert de la notion de rayon lumineux, on construit aisément l'ombre portée par un objet *qui est éclairé au moyen d'une très petite source lumineuse.* C'est ce qu'on appelle l'*ombre géométrique* des objets. L'expérience prouve que de part et d'autre de l'ombre géométrique il y a cependant de la lumière dans l'ombre et de l'ombre dans la lumière, c'est-à-dire que le passage de la pleine lumière à l'ombre complète se fait par degrés insensibles. Ce phénomène est une conséquence immédiate de la théorie ondulatoire de la lumière; il est dû à la diffraction.

Il ne faut pas confondre ces phénomènes de diffraction, dus à la périodicité de l'ondulation lumineuse, avec ceux qui sont dus à l'étendue des sources lumineuses. Dans ce cas, le passage de l'ombre à la lumière se fait bien encore d'une manière graduelle, par une zone estompée. Cela est dû à l'existence, à côté du cône d'ombre que nous venons de rappeler, d'un autre cône, celui de pénombre dans laquelle il y a un éclairement dû à une partie de la source seulement. Dans le cas qui nous occupe, nous allons montrer que les apparences sont analogues, même avec une source punctiforme. De plus, les phénomènes dépendent essentiellement de la dimension du corps éclairé, et ils sont d'autant plus accusés que ce corps éclairé est plus petit.

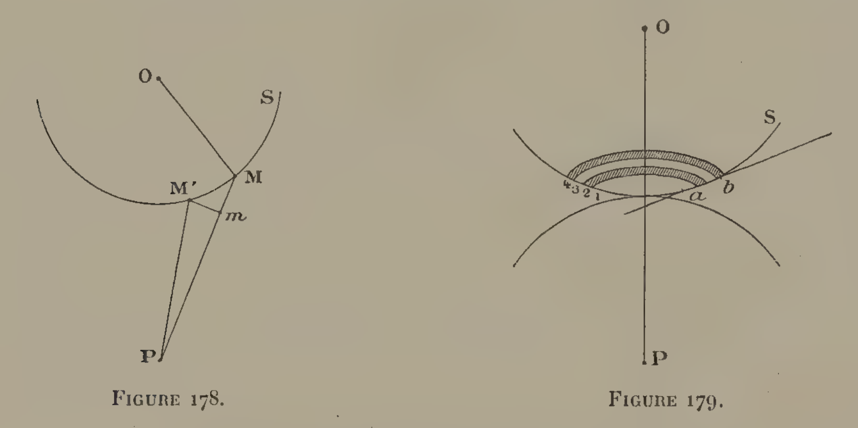


FIGURE 178. FIGURE 179.

Comme nous l'avons vu ci-dessus, une ondulation est quelque chose qui se transmet de proche en proche dans un milieu. On comprend donc immédiatement (1) que, si on connaît la valeur de la perturbation en un ins-

(1) C'est le principe d'Huygens.

tant sur une surface d'onde S, en traitant chacun des points de cette surface comme une source lumineuse nouvelle, on aura ce qui se passe au delà de S. Sur une de ces surfaces, par définition, les mouvements sont synchrones ; on n'aura donc, pour avoir le mouvement au point P, qu'à composer tous les mouvements issus des divers points M de l'onde, en tenant compte des temps différents mis par les ondulations issues des divers points M pour arriver au point P (fig. 178). On voit ainsi immédiatement que les points M et M' tels que $Mm = MP - M'P = \frac{\lambda}{2}$ donneront en P des mouvements discordants. On trouve aisément les points de la sphère S qui envoient sur P des mouvements concordants. Supposons que nous tracions, de P comme centre, des sphères dont les rayons soient en progression arithmétique de raison $\frac{\lambda}{2}$, en supposant que la première soit tangente à S (fig. 179). On aura une série de zones qui enverront au point P des mouvements qui, pour chacune d'elles, seront concordants. Il suffit, pour comprendre cela, de se reporter à ce qui a été dit à propos des interférences, en se rappelant que si, ici, on ne considère plus un point d'émission unique, on a cependant des points qui vibrent synchroniquement. On voit donc que pour chaque zone les mouvements envoyés en P par deux points qui y sont compris diffèrent de moins de 1/2 période, puisque les distances sont moindres que 1/2 longueur d'onde. Nous avons haché sur la figure les zones de 2 en 2. Fresnel a vérifié expérimentalement l'existence de ces zones, qui avaient été décrites par Huygens, en faisant un écran de grandeur calculée, de manière à cacher la première zone discordante. La lumière en P se trouve ainsi notablement augmentée.

Quand le numéro d'ordre de ces zones augmente, on voit aisément que l'action de chacune d'elles tend à être égale et de signe contraire à l'action des voisines. Elles se détruisent donc 2 à 2, et on voit ainsi que l'action d'une onde S sur un point P ne dépend que de la partie de l'onde très voisine de la normale OP.

Plaçons-nous dans le cas simple, où la lumière se propage par ondes cylindriques, c'est-à-dire est issue d'une fente verticale située en O (fig. 180), et où elle passe par une fente assez étroite pour contenir un petit nombre de longueurs d'ondes et, par conséquent, un petit nombre de zones de Huygens. Dans ce cas, les surfaces d'onde deviennent des cylindres, et les zones de Huygens des bandes parallèles que nous représentons par leurs traces sur le plan de la figure. Soit, par exemple, la fente ab, de largeur constante. On voit aisément qu'elle laissera arriver au point P toute la lumière de la zone 3, toute celle de 4 et une partie de celle de 2. On comprend donc que, en déplaçant un peu la fente ab sur l'onde, on puisse enlever juste ce qu'il faut pour que toutes les actions se détruisent sur le point P. Mais si cela se produit pour une position de ab, pour une position voisine cela n'aura plus lieu. On voit donc que, en déplaçant la fente, on aura au point P une succession de lumière et d'obscurité.

Supposons maintenant la fente *ab* fixe et considérons un point P mobile. Celui-ci entraînera avec lui la division en zones de Huygens de l'onde S. On voit donc que dans le plan PP_1, il y aura une succession de points alternativement éclairés et sombres formant des *franges de diffraction.*

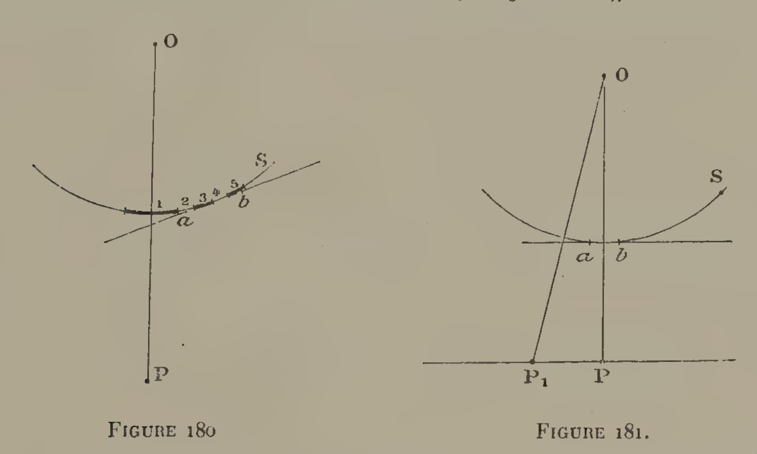


FIGURE 180 FIGURE 181.

On comprend immédiatement que l'existence de ces franges dépend de la constance de la vibration lumineuse, puisqu'il faut que le mouvement issu de la zone 5, par exemple, trouve encore en P un mouvement issu de 2. Il faut donc que le mouvement, dans le cas qui nous occupe, soit permanent pendant au moins quatre vibrations. Les franges seront d'ailleurs évidemment d'autant plus resserrées que la longueur d'onde sera plus courte.

Les rayons X n'ont pas donné trace de phénomènes de diffraction. On voit donc immédiatement que, si ce sont des ondulations de l'éther, ou bien ces ondulations sont dues à un ébranlement très vite amorti, ou bien elles sont dues à des ondes en régime régulier, mais de fréquence extrêmement grande, de manière que les franges d'interférence deviennent tellement serrées qu'on ne peut les voir.

Les expériences de Gouy ont montré que, dans cette dernière hypothèse, la longueur d'onde serait au moins cent fois plus courte et la période cent fois plus rapide que celle de l'extrémité ultra-violette connue du spectre.

§ 4. — Polarisation. — Double réfraction.

Quand on prend un cristal de spath d'Islande, on s'aperçoit qu'il donne deux images des objets. A un rayon lumineux incident correspondent donc deux rayons lumineux réfractés. Quand on étudie ces deux images en faisant tourner le spath, on voit que l'une des images reste immobile et que l'autre tourne autour de la première. Cette propriété est liée à la texture cristalline du spath, qui cristallise en rhomboèdres. La figure 182

montre ce qui se produit : le rayon xy, normal à la face d'entrée, se divise en deux au point M, l'un qui continue normalement (xy) : c'est le *rayon ordinaire* ; l'autre qui se réfracte (xMN'y') : c'est le *rayon extraordinaire*. Le rayon ordinaire suit la loi de Descartes ; le rayon extraordinaire ne la suit pas.

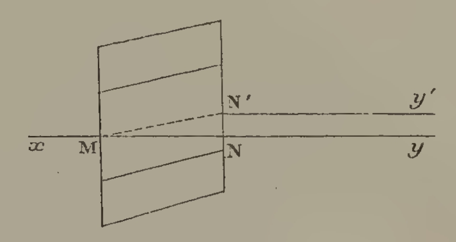


FIGURE 182.

Si on met deux spaths à la suite l'un de l'autre, on aura quatre images d'un point lumineux, mais les images sont d'intensités différentes suivant les positions relatives des deux spaths. Dans deux positions rectangulaires, il y a deux images très brillantes et deux éteintes ; dans les positions intermédiaires, les quatre images sont de même intensité. Quand l'un des couples est au maximum, l'autre est éteint, et inversement.

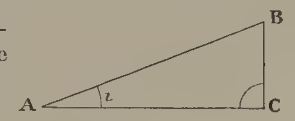
Ces phénomènes, connus depuis Huygens, étaient passés inaperçus quand Malus observa que la lumière du soleil réfléchie sur une vitre donnait deux rayons dans le spath comme toutes les autres, mais que, en tournant le spath, on pouvait éteindre partiellement tantôt l'une et tantôt l'autre. Il dit alors que la lumière réfléchie est *polarisée*.

Il observa de même que la lumière réfractée donnait des traces de polarisation, et que la proportion de lumière polarisée était largement augmentée quand la réfraction se faisait sur une *pile de glaces*.

La polarisation par réfraction est d'autant plus grande que l'incidence est plus voisine de ce qu'on nomme *l'incidence principale* (Brewster) définie par la relation $\operatorname{tg} i = n$ (1), où n est l'indice de la substance sur laquelle se fait la réflexion ou la réfraction, et i, l'angle du rayon lumineux avec la normale à la surface réfléchissante.

On nomme *polariseurs* les appareils qui polarisent la lumière et *analyseurs* ceux qui mettent en évidence cette polarisation. On constate que tout polariseur peut servir d'analyseur, et inversement. La lumière qui a subi une réflexion ou une réfraction est partiellement polarisée, c'est-à-dire est due à la superposition de lumière ordinaire et de lumière polarisée ; celle qui a traversé un cristal de spath est *totalement polarisée*. L'expérience

(1) Soit un triangle rectangle ABC (fig. ci-contre) ; appelons i son angle en A ; on définit la tangente trigonométrique de l'angle i, qu'on écrit tg i, par la relation : $\operatorname{tg} i = \frac{BC}{AC}$.



montre donc que dans une lumière polarisée les sections d'un faisceau lumineux menées par son axe sont différentes. Il a une dissymétrie caractérisée par l'existence d'un *seul plan* de symétrie. Malus constata que celui-ci, pour la lumière polarisée par réflexion ou par réfraction, est le plan d'incidence lui-même; il le nomma *plan de polarisation* du rayon.

Vibration de la lumière polarisée. — On ne peut guère concevoir la vibration de la lumière comme longitudinale étant donnés les phénomènes de la polarisation, qui montrent que tous les azimuts autour du rayon ne sont pas identiques. Nous allons voir, par une expérience de Fresnel et Arago, que la lumière polarisée est due à une vibration rectiligne et transversale. La figure 170 montre comment deux vibrations peuvent s'annuler; il faut qu'elles se fassent dans la même direction, mais en sens contraire. Si au contraire on a en O (fig. 183) deux vibrations rectangulaires OA et OB, le mobile décrira une courbe dont la forme dépendra de la différence de phase des deux mouvements. On comprend que, si les deux mouvements partent ensemble du point O, le mobile décrira la droite OC diagonale du parallé-

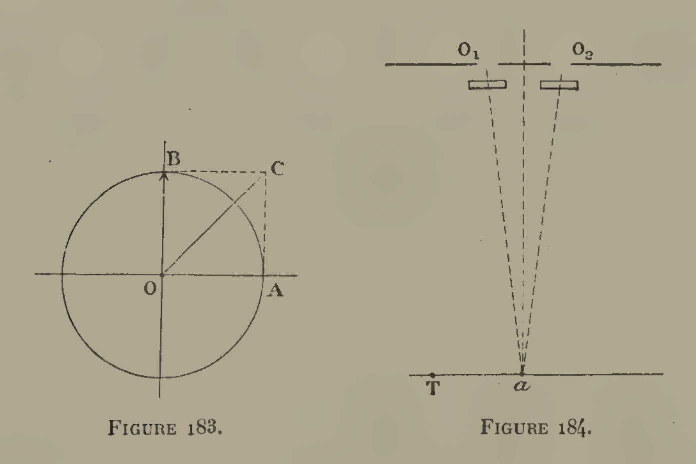


FIGURE 183. FIGURE 184.

logramme construit sur les deux vibrations. Si, au contraire, la vibration OB passe au point O au moment où la vibration OA est en A, on démontre aisément que, si OA = OB, le point mobile décrit un cercle et que si OA $\lessgtr$ OB, le point mobile décrit une ellipse ayant pour axes OA et OB. Si la différence de phase, au lieu d'être O ou une demi-période, est quelconque, la courbe décrite est une ellipse dont les axes varient en grandeur et en direction suivant la différence de phase. Ce sont les aspects que l'on obtient dans les expériences des diapasons croisés de Lissajous.

Dans le cas de vibrations rectangulaires on ne peut donc pas obtenir d'interférences. Les vibrations, suivant la différence des chemins parcourus, seront rectilignes, elliptiques ou circulaires, mais toujours de même intensité.

Fresnel et Arago prirent comme source de lumière (fig. 184) deux trous O_1 et O_2 éclairés par une même source lumineuse. Dans ces conditions, au

point a, sur l'axe de symétrie $O_1a = O_2a$, il y aura superposition des mouvements, les chemins parcourus depuis les deux points O_1 et O_2, appartenant à la même onde, étant les mêmes. Mais en T, si $O_2T - O_1T = \frac{\lambda}{2}$, λ étant la longueur d'onde de la lumière employée, il y aura interférence.

Dans une deuxième expérience, Fresnel et Arago placèrent des tourmalines en O_1 et O_2, donnant aux deux faisceaux des plans de polarisation parallèles ; ils n'eurent aucune différence avec le phénomène normal ; au contraire, quand, en tournant une des tourmalines ils eurent placé les deux plans de polarisation rectangulaires, tout phénomène d'interférence cessa (1). Cela prouve nettement que, dans ce cas, le mouvement issu de O_2 n'a aucune concordance avec le mouvement issu de O, c'est-à-dire que chacun de ces mouvements est rectiligne et transversal.

§ 5. — **Hypothèses sur les rayons X.**

Malgré tous les efforts des expérimentateurs, les rayons X n'ont jamais présenté de traces de polarisation. Aussi Röntgen, dans son premier mémoire, émit-il l'idée qu'ils devaient être dus à des vibrations longitudinales de l'éther. Mais nous avons déjà dit que, pour asseoir cette hypothèse, il faudrait une mesure de la vitesse de propagation nous indiquant que les rayons X se propagent *plus vite* que la lumière. Or, les expériences de Blondlot nous montrent que les rayons X se propagent avec la vitesse même de la lumière. Nous devons penser qu'ils sont de même nature qu'elle, puisque la vitesse de propagation est une caractéristique d'un ébranlement dans un milieu donné.

Ce résultat est tout à fait satisfaisant pour l'esprit, car il aurait été difficile de comprendre un éther transmettant de vibration longitudinale. Dans les phénomènes lumineux, dans les ondulations électriques, il transmet uniquement des ondes transversales, aucun phénomène longitudinal ne se manifeste. L'éther nous apparaît donc comme un milieu *incompressible*, ce qui comporte, d'après la théorie de l'élasticité, la non propagation des ondes longitudinales.

Les expériences de Blondlot sont donc venues nous donner un renseignement fort important, puisqu'elles nous ont montré la probabilité très grande des idées que nous nous faisons sur la nature de l'éther lumineux.

L'absence de polarisation n'est d'ailleurs pas une raison suffisante pour rejeter la théorie des ondes transversales. En effet, en même temps qu'ils ne se polarisent pas, les rayons X ne se réfléchissent pas et ne se réfractent pas. La polarisation, se produisant toujours par réflexion ou par réfraction,

(1) Nous simplifions ici à dessein les expériences de Fresnel et d'Arago pour rendre l'ensemble de la question plus facile à saisir.

il n'est donc pas étonnant qu'elle ne puisse exister pour les rayons X, qui ne se réfléchissent ni ne se réfractent.

Il semble donc a priori que c'est là un fait qui le sépare complètement de la lumière. Mais l'étude de la dispersion anomale, dont nous allons dire un mot, montre que la difficulté n'est pas insurmontable.

Dispersion anomale. — On sait que, dans tous les corps usuels, la réfraction se fait de manière que les radiations ayant les longueurs d'onde les plus courtes soient en même temps les plus déviées. Si nous prenons comme abscisse les longueurs d'onde et comme ordonnées les indices nous aurons une courbe analogue à celle de la figure 185.

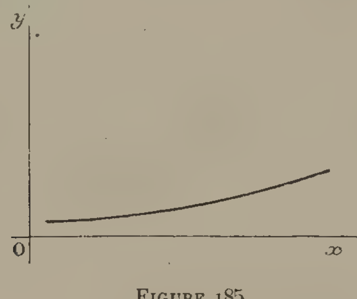


FIGURE 185.

Si au lieu de cela on considère des corps transparents pour certaines radiations, mais présentant pour d'autres des bandes d'absorption (nous parlerons plus loin de ce phénomène), on voit que la courbe des indices n'a plus aucunement la forme régulière ci-dessus. Avec certains corps,

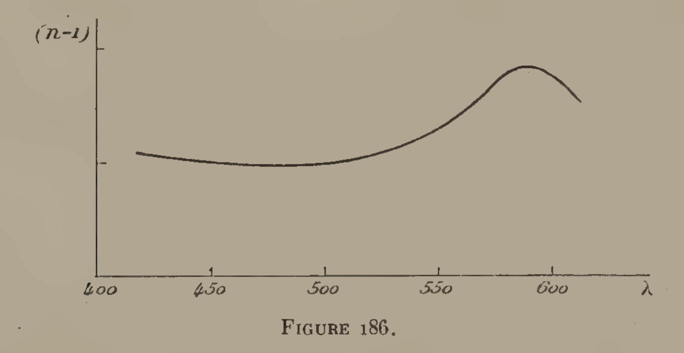


FIGURE 186.

comme la vapeur d'iode, la fuchsine, la carthamine, la cyanine, le permanganate de potasse, le carmin, la chlorophylle, il n'en est plus de même. J'emprunte à un mémoire de Schtleglaïef la courbe de variation des indices dans la fuchsine (fig. 186). En abscisse sont portées les longueurs d'onde, et en ordonnées les indices diminués d'une unité, afin d'avoir une échelle suffisante. On voit que le rouge 0,600 a un indice beaucoup plus élevé que le violet 0,418, ce qui est le contraire de la normale.

En même temps que la dispersion anomale, la fuchsine présente la

propriété d'absorber énormément les radiations visibles. On a alors pensé qu'il y avait une relation entre l'absorption sélective des radiations et la dispersion anomale. On a vu que la loi de succession des indices présentait toujours une grande perturbation aux environs des bandes d'absorption de toutes les substances. On a alors cherché si les corps les plus absorbants, les métaux, ne présentaient pas des indices tout à fait anormaux. Avec un petit prisme d'argent assez mince pour être transparent, Kundt a pu mesurer un indice de 0,25. Ce qui indiquerait que, dans l'argent, la longueur d'onde serait quatre fois plus longue que dans l'air.

Les théoriciens ont alors cherché si l'absorption ne pouvait rendre compte de la dispersion anomale, et, par les chemins les plus divers, Helmholtz, Ketteler, Drude, ont montré la possibilité des phénomènes. Raveau et Goldhammer ont donné simultanément, au moyen de ces considérations, l'explication de ce qui peut se passer pour des radiations très courtes.

Tous les corps transparents normaux, pour lesquels l'indice varie en sens inverse de la période, présenteraient dans l'ultra-violet une bande d'absorption énergique, au delà de laquelle l'indice, devenu plus petit que 1, tendrait vers l'unité par valeurs croissantes. L'existence de cette absorption a été vérifiée dans plusieurs cas, en particulier pour le verre et l'air atmosphérique. L'argent, cité tout à l'heure, confirme la loi : on lui trouve en effet un indice 0,25, et sa transparence augmente à mesure qu'on avance dans l'ultra-violet.

On peut donc concevoir les rayons X comme des ondulations extrêmement rapides, atteignant la limite 1 de l'indice que fait prévoir la théorie. D'ailleurs, dans cette manière de voir, les vibrations moléculaires qui absorbent la lumière de même période qu'elles, comme un résonateur acoustique absorbe l'énergie sonore accordée avec lui, seront extrêmement lentes par rapport à celles des rayons X. Il ne peut donc plus y avoir absorption avec conservation de la période, il ne pourra y avoir que transformation. Les expériences de Sagnac ont en effet montré que les rayons X qui ne traversent pas les corps sont transformés en rayons X différents des premiers.

Nous avons jusqu'ici exposé les phénomènes optiques qui, au premier abord, semblent incompatibles avec les propriétés des rayons X. Nous exposerons dans la suite les propriétés de la lumière qui se retrouvent exactement dans ces rayons.

CHAPITRE III

CLASSIFICATION DES RADIATIONS

§ 1. — Infra-rouge. — Propriété du noir de fumée.

Quand on emploie l'œil pour étudier l'énergie ondulatoire qui nous vient du Soleil, on s'aperçoit que le spectre obtenu nous donne les sensations colorées définies plus haut, en s'arrêtant environ dans le rouge à la longueur d'onde $\lambda = 0,76$, et dans le violet à $\lambda = 0,39$ (1).

Mais il ne faut pas croire pour cela que toutes les radiations émises par le Soleil soient comprises entre ces limites. On s'aperçoit aisément qu'un thermomètre sensible chauffe dans la région orangée, dans le rouge et même dans la partie obscure moins réfrangible que le rouge. Cette découverte fut faite en 1800, par Herschell. Donnons quelques indications sur la façon dont se produit cette action.

Quelle que soit la nature du corps thermométrique employé, on n'a d'indication notable en le plaçant dans le spectre que s'il est enduit de noir de fumée. Ce corps a la propriété d'absorber complètement la lumière qu'il reçoit. On n'en trouve qu'une quantité tout à fait négligeable diffusée dans toutes les directions. Si nous appliquons le principe de la conservation de l'énergie, nous devons nous attendre à trouver un équivalent de cette énergie lumineuse. Elle est transformée en chaleur, et employée à échauffer le corps recouvert de noir de fumée. Cette propriété vérifiée directement pour les radiations lumineuses est étendue avec grande vraisemblance aux radiations infra-rouges. Melloni a montré par une expérience directe la probabilité très grande de ce fait. On admet que la radiation du corps noir qui reçoit les radiations est due uniquement à son élévation de température, et aucunement à de la diffusion. Le procédé d'étude thermique du spectre au moyen du noir de fumée donne donc un moyen de mesurer l'énergie rayonnée chaque seconde à travers l'unité de surface et par la radiation étudiée.

(1) Les longueurs d'onde se mesurent en millièmes de millimètre ou microns. Les limites du spectre visible sont en gros 4 et 8 dixièmes de micron.

Quand on prend les instruments les plus sensibles, le bolomètre de Langley, par exemple, on voit que ses indications ne s'étendent pas jusqu'à l'extrémité violette du spectre. Mais, par contre, dans le côté infra-rouge, les indications s'étendent extrêmement loin, et les travaux de ces dernières années laissent penser que la limite ainsi atteinte pourra se reculer encore.

Donnons quelques indications sur cette partie infra-rouge du spectre, avant de passer à l'ultra-violet, qui intéresse plus directement les radiographes.

L'étude de cette région du spectre nécessite l'emploi d'appareils concentrateurs qui se laissent traverser par ces radiations. Nous étudierons plus loin l'absorption en détail, bornons-nous pour l'instant à dire que la meilleure substance pour ces études est la fluorine, et qu'avec le quartz et le sel gemme, on peut déjà étudier assez loin le spectre infra-rouge. Il est probable que la limite qu'on lui connaît dépend uniquement de l'absorption par les milieux interposés.

Nous ne mettons plus en doute aujourd'hui que les radiations infra-rouges sont identiques à la lumière comme nature. On peut en effet, comme pour la lumière, mesurer la longueur d'onde, on est même étonné de voir la difficulté que beaucoup d'esprits ont éprouvée à s'habituer à cette idée, qu'une même cause peut avoir des effets aussi différents que la chaleur et la lumière. Au début, on croyait que chaleur et lumière étaient absolument distinctes. Cependant, dès 1835, Ampère énonçait que la chaleur rayonnante et la lumière étaient dues au même agent, et l'on s'étonne aujourd'hui de la résistance que cette idée a trouvée même parmi des physiciens de valeur, pour lesquels chaleur et lumière devaient être deux phénomènes essentiellement différents. Ils ne songeaient pas que, quand une radiation, obscure ou non, échauffe un corps, il n'y a pas de chaleur au point où on met le corps thermométrique avant que celui-ci ne soit introduit, pas plus qu'il n'y a de lumière en une région où se propage de l'énergie capable d'impressionner notre œil, tant qu'il n'y a pas là un œil muni de son cerveau pour transformer l'énergie ondulatoire de l'éther en ce que nous appelons lumière. Le noir de fumée transforme l'énergie radiante en chaleur au même titre que l'œil la transforme en lumière. La difficulté que cette idée a eue à se répandre montre combien il faut être circonspect dans les tentatives de classement des phénomènes, combien il faut se défier des indications pures de nos sens.

Il est extraordinaire que les idées d'Ampère aient trouvé des contradicteurs. En effet on avait l'exemple bien connu de la mesure de la puissance d'une machine. On emploie pour cela le frein de Prony, où l'énergie de la machine est dégradée en chaleur par le frottement, et où on mesure la chaleur produite par un couple qui lui est proportionnel. Le frein de Prony était connu bien avant le principe de l'équivalence de la chaleur et du travail. Il est extraordinaire que cette expérience ait été si longtemps mal interprétée et n'ait pas éclairé les physiciens sur ce point qu'on mesure toutes les

formes de l'énergie en les dégradant en chaleur, mais qu'il n'y a aucune relation de forme entre la chaleur et l'énergie mesurée.

Nous ne mettons plus en doute maintenant l'identité des radiations calorifiques et lumineuses, nous allons donc indiquer quelles sont les limites atteintes dans l'infra-rouge.

En 1847, Fizeau et Foucault mesurèrent une longueur d'onde de 1,447 micron. En 1879, Mouton arriva à 2,447 microns. En 1880, Desains et Curie arrivèrent à 7 microns. Langley, en 1886 et 1888, recula encore ces limites et arriva à des longueurs d'onde évaluées à 30 microns. Enfin, Rubens et Nichols, par des procédés que nous ne pouvons donner ici, et ensuite Rubens et Aschkinass, arrivèrent à trouver dans la radiation du bec Auer des radiations de 40, puis de 60 microns de longueur d'onde.

Ces radiations ont amené Rubens et Nichols à une découverte de premier ordre, c'est qu'elles ont une action, sur certains appareils, identique à celle des ondulations électriques. Pour faire comprendre toute l'importance de ce résultat, il me faut maintenant dire quelques mots de la théorie de Maxwell, qui rattache ensemble les phénomènes lumineux et électriques.

§ 2. — **Théorie électro-magnétique de la lumière.**

Nous avons vu plus haut que ce qui caractérise le mieux un milieu donné c'est la vitesse de propagation des ondes dans ce milieu. C'est de cette propriété que Maxwell s'est servi pour montrer l'identité de la lumière et des ondulations électriques. Il pensa qu'on ne peut sans absurdité remplir l'espace d'un milieu nouveau toutes les fois qu'on a à expliquer un ordre nouveau de phénomènes, et que, par conséquent, la lumière exigeant la conception d'un éther propageant les ondulations lumineuses, il fallait expliquer par son moyen les phénomènes électriques, et non pas par des fluides hypothétiques mélangés à l'éther et ne prenant pas part à la propagation de la lumière.

Maxwell, en soumettant au calcul les lois de l'induction, arriva à montrer que les équations de propagation d'une perturbation électro-magnétique étaient de même forme que les équations de propagation d'un ébranlement dans un milieu élastique. Si, de plus, on considère l'induction produite dans un circuit fermé, on voit que cela exige une condition qui implique pour les équations générales la forme particulière relative aux mouvements purement transversaux. Maxwell fait alors l'hypothèse que cette condition est toujours réalisée, c'est-à-dire que les perturbations électriques produites dans les circuits ouverts sont complétées par un phénomène qu'il a nommé déplacement électrique et se passant dans le diélectrique. La différence entre ces courants de déplacement et les courants des conducteurs est qu'ils ne peuvent être continus, le diélectrique opposant au flux électrique une résistance analogue à l'élasticité. Ce n'est là qu'une hypothèse que rien ne justifie a priori. Les théories électro-dynamiques de Helmholtz sont compatibles avec sa suppression.

Mais l'étude des équations réduites ainsi obtenues n'en offre pas moins un intérêt de premier ordre, car c'est celle des mouvements purement transversaux du milieu qui transmet les actions électriques et que la lumière est due à des mouvements de cette nature. Ces équations montrent que le carré de la vitesse de propagation des mouvements transversaux dans le milieu qui transmet les phénomènes électriques est égal au rapport des unités électro-statiques et électro-magnétiques. Un grand nombre d'expérimentateurs ont mesuré ce rapport, dont la racine carrée, dans les cas les plus dignes de confiance, concorde presque exactement avec la vitesse de la lumière mesurée par Cornu. Nous pouvons donc dire : Le milieu dont les déformations produisent les phénomènes électriques est bien probablement le même que celui qui transmet la lumière, puisque les propriétés des deux milieux relatives aux oscillations transversales sont identiques.

L'étude de la lumière nous a montré que le milieu qui la transmet, au moins pour ce que nous appelons les radiations, ne transmettait pas d'ondes longitudinales. Cherchons si l'expérience ne nous permet pas de croire que, dans les cas où nous pouvons produire des oscillations électriques, celles-ci se propagent par ondes purement transversales, ce qui nous conduirait à admettre que les ondulations électriques doivent être rangées dans le spectre.

Nous serons amenés au résultat par la discussion des expériences de Hertz et de ses successeurs ; mais nous ne suivrons pas exactement, dans cet exposé, l'ordre historique, car, dans cette question comme dans toutes les autres, les idées vraiment nettes ne se sont fait jour qu'après un long tâtonnement.

§ 3. — **Ondulations de Hertz.**

Les ondulations électriques dont on étudie, depuis Hertz, les propriétés, sont toujours produites par la décharge oscillante et amortie d'une capacité, périodiquement rechargée par une bobine d'induction ou par une machine statique. La théorie de l'induction permettait de prévoir l'existence de ces décharges oscillatoires que les expériences de Feddersen ont vérifiées, et de calculer leur période par la formule bien connue de Thomson. Il fallait voir si les résultats de la théorie se vérifiaient numériquement par l'expérience.

M. Blondlot est arrivé, par une méthode indépendante de tout calcul, et sans autre hypothèse que celle de la décharge oscillante des condensateurs, à montrer que la vitesse de propagation d'une onde électrique le long des fils conducteurs était précisément égale à la vitesse déduite du rapport des unités, pour les perturbations transversales régies par les équations réduites de Maxwell. Des expériences indiscutables de MM. Sarasin et de La Rive montrent l'égalité absolue des vitesses de propagation dans l'air libre et le long des fils conducteurs.

Interprétons ce premier résultat. Il montre que les perturbations dues aux décharges oscillantes des condensateurs se propagent avec la vitesse même qu'ont les ondes transversales dans le milieu qui transmet les actions électriques. Si donc la perturbation n'est pas purement transversale, il faut, pour que les expériences aient la netteté que nous leur connaissons, que les ondes transversales et les longitudinales aient, dans ce milieu, même vitesse de propagation. En introduisant cette hypothèse dans les équations de la théorie de l'élasticité, on voit que l'énergie mise en jeu par une déformation du milieu est indépendante de la dilatation, c'est-à-dire du mouvement longitudinal. Ceci est impossible à admettre ; nous sommes donc forcés de dire que les perturbations dues aux décharges oscillantes des condensateurs sont essentiellement transversales, et ont pour siège l'éther lumineux. Elles forment donc un prolongement du spectre solaire.

Ces ondes se réfléchissent, se réfractent, comme les ondes lumineuses ; elles échauffent les corps susceptibles de les absorber, ce qui a permis à divers expérimentateurs de les étudier avec le bolomètre (1), comme les ondes lumineuses. Mais le procédé d'étude le plus habituel consiste dans la résonance d'un circuit secondaire, qui donne dans un micromètre des étincelles variables suivant sa position. Un pareil circuit n'est pas, comme l'œil, un récepteur indifférent capable de vibrer à l'unisson de tout un spectre : à chaque impulsion il donnera naissance à une série d'ondes amorties, dont la période et la loi de décroissance sont déterminées, comme celles qui sont relatives à l'excitateur. Avec cet instrument, on a vérifié facilement que les ondes se réfléchissent et se réfractent. Quand on a voulu les faire interférer, on a eu des résultats contradictoires. En essayant d'étudier les ondes stationnaires qui se produisent devant les miroirs, comme dans la photographie des couleurs de Lippmann, on s'aperçoit qu'on trouve des nœuds et des ventres qui dépendent du résonateur, et non de l'excitateur. Il semble qu'il y ait là une différence essentielle avec la lumière, si on admet, en se basant sur les théories électriques en vogue, que l'excitateur donne une ondulation simple. Il n'en est rien. En effet, la théorie des interférences exige que l'amplitude des oscillations soit constante, ce qui n'est pas réalisé ici, puisque chaque excitation due à la bobine d'induction donne un train d'ondes très vite amorties. Il ne pourra donc pas y avoir d'interférences nettes. On conçoit au contraire que, si une onde, qui a donné une excitation au résonateur, revient après réflexion lui donner une deuxième excitation concordant avec la première, il en sera de même pour toutes les autres ondes et que l'étincelle secondaire passera par un maximum d'autant plus net que l'amortissement du résonateur sera plus faible. Bien des expériences ont été faites qui semblent prouver que l'oscillation de l'excitateur est simple et amortie.

(1) Appareil dans lequel on mesure avec précision la variation de résistance électrique d'une lame extrêmement mince de métal échauffée par la radiation.

Sur quelle étendue s'étend cette nouvelle région du spectre? Hertz a fait ses premières expériences avec des longueurs d'ondulation de 5 mètres environ. Avec les bouteilles de Leyde ordinaires, les longueurs d'ondulation sont d'environ 600 mètres. Elles ne sont pas pratiquement mesurables.

Les successeurs de Hertz se sont appliqués à réduire au minimum les longueurs d'ondulation employées, afin d'éviter autant que possible les phénomènes de diffraction produits par les miroirs et autres appareils, de dimensions forcément très petites par rapport à la longueur d'onde. Dans cette voie, on est arrivé, avec le dispositif ordinaire, jusqu'aux environs de 30 ou 40 centimètres de longueur d'onde. Quand on veut aller au delà, ce dispositif ne peut plus servir. Il faut employer de tout petits excitateurs placés entre les sphères de décharge. Dans ces conditions, Righi a pu arriver à des longueurs d'onde de 6 ou 7 centimètres, Lebedew a réalisé des longueurs d'onde de 3 millimètres, mais avec une énergie tellement faible qu'il n'a pu avec ces ondes répéter les expériences capitales de l'optique. Il a dû s'arrêter dans cette voie aux ondes de 6 millimètres. Avec les ondes de Righi et de Lebedew, on peut répéter facilement toutes les expériences d'interférence, de réflexion vitreuse et métallique, de réfraction, de double réfraction même. Cette dernière expérience a été réalisée pour la première fois d'une manière bien nette par Lebedew, qui a montré cette propriété dans le soufre octaédrique. Mack avait cru la voir dans le bois ; Righi l'avait niée. L'emploi de très petites ondulations a permis d'employer le soufre et de mettre le fait hors de doute.

Jagadis Chunder Bose a réalisé un dispositif permettant de répéter très facilement toutes ces expériences.

Ainsi les décharges électriques oscillatoires nous font connaître des ondulations analogues à celles du spectre solaire, dont la longueur d'ondulation est comprise entre l'infini et 3 millimètres. Nous avons vu que Langley a été dans l'infra-rouge jusqu'à 30 microns, Rubens et Nichols jusqu'à 60, et nous avons entre ces limites une lacune considérable. Elle est de 6 octaves, pour nous guider par l'analogie musicale, étendue inférieure à celle qui nous est révélée par les divers instruments pour les oscillations des sources ordinaires de chaleur et de lumière, laquelle est de 8 octaves. Peut-on espérer, par les excitateurs électriques ordinaires, rejoindre les deux ordres de spectres ? Je ne le crois pas, car, pour arriver aux ondulations si courtes, il faut employer des appareils de très petites dimensions, pour lesquels l'énergie mise en œuvre dans les oscillations est très petite et, par conséquent, très difficile à mettre en évidence. C'est ce qui a arrêté Lebedew dans cette voie. Ne disons pas cependant qu'on ne peut espérer combler électriquement la lacune, car on n'a pas exploré encore tout le champ ouvert par les tubes à vide et l'étincelle disruptive.

§ 4. — Propriétés électriques de l'infra-rouge.

On comprendra facilement, d'après ce qui vient d'être dit, que, quand un résonateur se trouve placé sur le trajet d'une onde, il absorbe une partie de son énergie en devenant lui-même une nouvelle source d'ondulations, et cela d'autant plus qu'il résonne mieux. La résonance est d'autant plus grande que la période propre de l'excitateur est plus voisine d'un multiple de celle du résonateur. Un résonateur peut avoir une forme quelconque, par exemple la forme rectiligne, et on peut calculer la période d'oscillation d'un résonateur de cette espèce. Si donc on tend en avant d'un excitateur un réseau de fils accordés chacun séparément avec lui, l'onde sera presque entièrement absorbée par ce réseau, qui deviendra une nouvelle source de rayonnement. Garbasso a vérifié ce fait pour les ondes électriques.

Avec les ondes de 24 microns de longueur d'onde, les dimensions des résonateurs accordés sont pratiquement réalisables. Rubens et Nichols ont fait des réseaux avec des dépôts minces d'argent sur verre, à 100 traits au millimètre avec des lignes transversales à 6,5, 12,4, 18 et 24,4 microns de distance. Les réseaux étaient donc divisés en résonateurs dont les différences étaient de 1/4 de longueur d'onde de la radiation de 24 microns. L'expérience a montré, ici comme pour les ondes électriques, que la diffusion se faisait mieux sur les résonateurs accordés sur les multiples entiers de la demi-longueur d'onde que pour les autres, c'est à-dire pour les résonateurs de 12,4 et 24,4 microns de long que pour ceux de 6,5 et de 18.

On peut donc dire que Nichols et Rubens ont exécuté les expériences de résonance électrique avec des radiations émises par un bec Auer.

Laissons de côté maintenant cette question théorique, et voyons les effets de ces radiations nouvelles. Ces oscillations électriques très rapides produisent, comme on peut s'y attendre, des effets d'induction d'une puissance

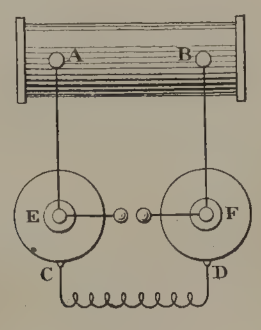


Figure 187.

extrême. Pour les mettre en évidence, nous nous adresserons à des oscillations relativement très lentes, approximativement de 500.000 par seconde;

ce sont celles qui ont été employées par Teslà. Dans ces conditions, l'énergie est grande, et les effets peuvent être mis en évidence d'une manière brillante. Le dispositif employé est celui qui a été indiqué pour la première fois par Lecher pour l'étude des ondulations Hertziennes, et utilisé depuis par d'Arsonval dans le but qui nous occupe. Deux condensateurs sont reliés par un solénoïde CD. Les deux autres armatures E, F sont reliées aux deux pôles A, B d'une bobine d'induction et réunies entre elles par l'intermédiaire d'un excitateur à étincelles. La bobine et les deux armatures ainsi réunies forment un excitateur de Hertz. Les ondulations se propagent par induction dans l'autre circuit, sur lequel on les étudie.

Si nous entourons ce solénoïde d'un seul tour de fil de cuivre de grand diamètre, nous voyons une lampe à incandescence placée dans ce simple circuit éclairer brillamment. A chaque oscillation du primaire se produit une oscillation du fil induit, à très haut potentiel, à cause de la vitesse de la variation du courant inducteur. Comme les oscillations sont très rapides, les effets se renouvellent un assez grand nombre de fois par seconde pour que l'intensité soit suffisante pour illuminer la lampe.

Si maintenant nous prenons une lampe à incandescence et que nous la mettions en contact avec deux points même assez voisins du solénoïde, nous voyons encore la lampe s'illuminer brillamment. La seule difficulté consiste à prendre assez peu de spires pour ne pas brûler la lampe, et assez pour la rendre très brillante.

Mais, dans les conditions où nous sommes placés, les potentiels n'atteignent jamais aux hautes valeurs que donnent les machines statiques. Si nous voulons y arriver, il faut employer un transformateur. Celui-ci doit être plongé dans un liquide isolant pour éviter les étincelles et les déperditions par aigrettes. De plus il introduit peut-être une augmentation de la fréquence, en donnant une harmonique supérieure de la vibration excitatrice. Ceci est d'ailleurs une pure hypothèse.

Dans ces conditions, de nouveaux effets prennent naissance. Des fils même très longs se couvrent d'aigrettes d'un aspect tout spécial, régulièrement réparties sur toute leur longueur, et ces fils produisent un champ puissant à grande distance. Un tube à acide carbonique sans électrode s'illumine même à distance considérable, alors qu'avec une bobine d'induction capable de donner le même potentiel, à la même distance, le tube donne à peine une lueur.

Si, de plus, on rapproche suffisamment ces fils l'un de l'autre, on voit une nappe lumineuse les réunir.

Une pointe mise en communication avec un des pôles du transformateur se couvre d'aigrettes.

Mais l'élévation du potentiel peut être produite d'une autre façon par la méthode de Oudin. Il suffit de mettre un solénoïde convenable en communication par une de ses extrémités avec un des points du circuit de décharge du condensateur. Si la période d'oscillation propre du circuit est convenable,

on voit paraître à l'autre extrémité des aigrettes analogues à celles qui sont produites sur le fil fin du transformateur de tout à l'heure. Un réglage délicat est nécessaire pour arriver à ce résultat. Il faut qu'il y ait concordance entre les oscillations du résonateur et celles du circuit excitateur.

Je ne m'occupe pas ici des curieuses actions physiologiques de ces courants de haute fréquence, étudiées spécialement par d'Arsonval ; je les ai indiquées seulement pour montrer l'importance prise maintenant par la notion de radiation. Je ne peux cependant les abandonner sans dire qu'on a tenté de les employer pour la production des rayons X. On n'a obtenu aucun résultat convenable, le procédé est tout à fait à proscrire.

D'après ce qui précède, nous connaissons, soit dans le domaine électrique, soit dans le domaine calorifique, soit dans le domaine lumineux, des radiations qui ont des longueurs d'onde comprises entre ∞ et $0 \mu 4$. Pour aller plus loin, il faut que nous disions quelques mots de la photographie, qui a révélé les longueurs d'onde plus courtes.

§ 5. — **Actinisme.**

Beaucoup de substances sont modifiées par la lumière, et peuvent par conséquent montrer la formation d'une image. Mais peu de substances sont susceptibles de permettre, avec les moyens actuellement connus, la fixation de l'image ainsi produite. Nous avons donc à traiter deux questions, celle des actions photochimiques en général et celle des images photographiques stables.

On sait depuis très longtemps que les couleurs sont altérées par la lumière du soleil ; on blanchit par ce procédé la cire et les toiles écrues. Il y a là des réactions chimiques bien définies qui se produisent. Dans certains cas, les radiations produisent simplement une modification allotropique du corps, sans modification de sa composition chimique, c'est le cas de son action sur le chlorure d'argent.

Cette action fut découverte par Scheele en 1770 ; le chlorure d'argent noircit par une longue insolation. C'est l'origine de la photographie proprement dite, telle qu'elle est le plus employée aujourd'hui. Nous allons voir bientôt par quel chemin détourné on est arrivé à des résultats pratiques. Voyons maintenant ce que la seule action de la lumière sur le chlorure d'argent a montré.

Ultra-violet. — Scheele avait reconnu que les rayons violets sont les plus actifs. Ritter et Wollaston découvrirent, en 1901, que l'action de la lumière sur le chlorure d'argent s'étend bien au delà de la région visible du spectre. Ils ont montré l'existence de ce qu'on a nommé les radiations chimiques. Leur découverte, comme on le voit, fut faite l'année après celle de l'infra-rouge, et les idées relatives à la pluralité des radiations, dont nous avons parlé ci-dessus, eurent cours aussi bien pour ce genre de radiations. On écrivit qu'il y avait dans le spectre solaire et dans celui des diverses

lumières, trois espèces de radiations, celles qui produisent la chaleur, celles qui produisent la lumière, celles qui produisent les actions chimiques. Je ne reviendrai pas sur la discussion déjà faite, je dirai seulement que toutes les radiations se réfractent et interfèrent comme le veut leur longueur d'onde, et qu'elles emportent dans toutes leurs transformations leurs propriétés. Les unes chauffent seulement, les autres chauffent, éclairent et agissent chimiquement dans certains cas, d'autres éclairent et agissent chimiquement, leur énergie étant trop faible pour exciter nos appareils thermiques, d'autres enfin agissent chimiquement seulement. Rappelons d'ailleurs, ce qui a été bien prouvé par Helmholtz, qu'au point de vue de la vision les limites du spectre sont variables avec les individus et avec l'état d'adaptation de la rétine. Quand on prend toutes les précautions pour éliminer les parties brillantes du spectre, qui éblouissent l'œil, et qu'on adapte la rétine à l'obscurité, on a une sensation gris de lavande pour la presque totalité de l'ultra-violet.

CHAPITRE V

ACTIONS DIVERSES DE LA LUMIÈRE

§ 1. — Photographie.

Nous allons étudier en détail tout à l'heure les découvertes qu'ont permises ces propriétés de la lumière ; disons d'abord un mot de la façon dont se fait la fixation des images obtenues par les radiations actiniques indiquées au chapitre précédent.

La première fixation fut faite par Niepce de Saint-Victor. Il employa le bitume de Judée étendu en couche mince sur une lame d'argent et il vit que ce bitume avait la propriété de n'être pas dissous dans un mélange de pétrole et d'huile de lavande, partout où il avait été attaqué par la lumière. On avait ainsi une image où les parties attaquées étaient en relief. Il fallait 10 à 12 heures d'exposition à la chambre noire pour avoir une épreuve. Daguerre travailla d'abord seul, puis en collaboration avec Niepce. Il perfectionna dès le début de leur collaboration la méthode de Niepce, en employant au lieu du bitume de Judée les résidus de distillation de l'huile de lavande, et en fixant l'image par l'exposition aux vapeurs d'huile de lavande. Il fallait encore 7 ou 8 heures de pose pour avoir une épreuve. Puis, après la mort de Niepce, Daguerre seul trouva le procédé connu sous le nom de daguerréotypie, basé sur la sensibilité de l'iodure d'argent, et la solubilité dans l'hyposulfite de soude de l'iodure non attaqué par la lumière. Je n'indique pas ici les détails du procédé de Daguerre, qui n'est plus usité aujourd'hui, je passe tout de suite aux procédés modernes.

Dans ceux-ci, une couche d'émulsion de sels d'argent dans la gélatine est étendue sur une plaque de verre. L'action de la lumière donne lieu, quand elle n'est pas trop prolongée, à la formation de ce qu'on nomme une image latente. L'aspect de la couche sensible n'est pas changé ; mais quand on la trempe dans un *bain révélateur*, c'est-à-dire dans un bain réducteur convenable, il y a une réduction des sels d'argent là où ils ont été impressionnés par la lumière, au lieu que la réduction ne se fait pas là où l'impression n'a pas existé. L'image est formée par un dépôt d'argent réduit en suspension dans la gélatine. On dissout le bromure non réduit dans l'hyposulfite de

soude et on lave ensuite à grande eau pour enlever toute trace d'hyposulfite. On obtient ainsi ce qu'on nomme une *image négative* ou un *cliché*. L'argent étant déposé aux points où l'action de la lumière a été la plus vive, ce sont en effet ces points qui sont les plus opaques sur le cliché. On peut d'ailleurs aisément obtenir au moyen de ce cliché des épreuves positives. Le procédé a été imaginé par Talbot, qui opérait au moyen de papier imprégné de chlorure d'argent (1834-1839). Son procédé, fort infidèle et donnant de mauvais résultats, fut oublié devant la daguerréotypie, mais l'idée du tirage indéfini ne lui en revient pas moins. Talbot obtenait une première image négative, sur papier chloruré, puis il plaçait derrière celle-ci un deuxième papier identique, et exposait le tout au soleil. Dans ces conditions, on obtient une image positive de l'objet sur le deuxième papier.

C'est un procédé analogue qu'on emploie aujourd'hui avec les plaques de verre au gélatino-bromure. On applique un papier sensible contre la gélatine de la plaque et on obtient une épreuve positive. Je n'entre pas dans le détail du virage et du fixage des positifs sur papier. On peut aussi remplacer le papier par une plaque ordinaire qu'on développe ensuite. On obtient ainsi ce qu'on nomme un *contretype*. Un cliché peut servir à obtenir autant d'épreuves et de contretypes que l'on veut.

Quand on emploie les plaques modernes au gélatino-bromure d'argent, on arrive à une sensibilité considérable. On peut obtenir des clichés, soit avec une pose longue, mais une lumière très petite, soit avec une forte lumière et une pose extrêmement courte. Une étincelle électrique, qui, comme l'ont montré Abraham et Lemoine, dure moins de un trois-cent millionième de seconde, donne une impression considérable ; avec des lumières moins intenses, comme celle qui est diffusée par un objet blanc au soleil, on peut avoir de bonnes images avec des temps de pose de quelques millièmes de seconde.

Au début de la photographie, Fizeau et Foucault annoncèrent qu'il y avait exactement proportionnalité inverse entre le temps de pose nécessaire pour obtenir une intensité donnée d'impression sur la plaque et l'intensité lumineuse employée, quand autour des intensités moyennes la lumière varie dans le rapport de 10 à 1. Cette loi se vérifie approximativement dans les limites indiquées par les auteurs. Mais elle n'est plus vraie pour les temps de pose très élevés ni pour les temps de pose très courts.

En effet, quand on expose une plaque sensible à une lumière vive pendant un temps très long, on voit que l'impression peut devenir inverse. On dit alors que la plaque est *solarisée*. On obtient ainsi directement un cliché positif. Quand l'action lumineuse est prolongée au delà d'une certaine limite, elle détruit ce qui a été fait dans les premiers temps de l'impression. On voit donc qu'on ne peut avoir un bon résultat quand on pose beaucoup une photographie, même si on la développe peu. Il faut que la pose ne varie que dans des limites convenables. Ces limites sont d'ailleurs assez élastiques.

Pour les temps de pose très courts, Abney a vu que l'impression décroissait notablement plus vite que le temps de pose. Quand, au moyen d'appareils faciles à imaginer sinon à réaliser, on réduit celle-ci à l'ordre du dix millième de seconde, on voit que quand on pose le même temps, d'une part en pose continue, de l'autre en divisant cette pose en un très grand nombre de fractions très courtes, on obtient, dans le second cas, un effet notablement plus faible que dans le premier.

Quand on prend des lumières très faibles, les effets sont bien connus des photographes, mais je ne connais pas de mesures systématiques sur le sujet. On sait cependant que, pour une lumière assez faible, aucune impression ne se produit sur la plaque, quel que soit le temps employé. C'est ainsi qu'on peut effectuer des développements avec la lumière donnée par certains verres verts, quand elle est assez faible, sans voiler pour cela la plaque employée. Cette même lumière, pour peu qu'on augmente son intensité, donne aisément un voile. Elle est cependant bonne pour certains opérateurs. En effet, elle donne une très bonne acuité visuelle, même à intensité relativement faible, et même à ceux qui sont affectés de daltonisme. Pour ceux-ci, la lumière rouge est impossible à employer, ils ne voient rien sur leur cliché, ou lieu que l'autre lumière leur permet d'opérer sans voiler leur plaque. Le choix entre la lumière verte et la rouge dépend donc des yeux de l'opérateur.

Rayons continuateurs. — E. Becquerel a montré aussi que quand on impressionne légèrement du chlorure d'argent par des rayons actiniques, quand on l'expose ensuite dans la partie la moins réfrangible du spectre, il est impressionné. Ces rayons ont reçu le nom de *rayons continuateurs*.

Ultra-violet extrême. — Nous ne pouvons ici passer en revue les substances sur lesquelles agit la lumière et leurs diverses propriétés. Nous avons indiqué seulement ce qui est utile aux radiographes au point de vue théorique, ce qui permettra de s'orienter au milieu des faits complexes qui peuvent se présenter à eux. Nous laissons de même de côté toute la question technique de la photographie, pour laquelle nous renvoyons à une autre partie de l'ouvrage.

Ces propriétés ont permis de trouver dans les sources de lumière ordinaire des radiations dont on a pu mesurer la longueur d'onde, et qui sont beaucoup plus courtes que les radiations visibles. C'est ainsi que Cornu a pu photographier des radiations jusqu'à 0,18 de micron, et que, il y a peu d'années, en plaçant son instrument dans le vide et en employant des lentilles de quartz, Schumann est arrivé jusqu'à la longueur d'onde de 0,12 de micron. Pour ces radiations, la gélatine de la plaque est trop absorbante, il faut employer des couches de chlorure d'argent déposées à la surface d'une couche de gélatine.

On voit l'étendue considérable du spectre qui nous a été révélé par la photographie. Nous allons voir que ces radiations ont encore la propriété de produire des phénomènes extrêmement remarquables.

§ 2. — Phosphorescence.

Quand la lumière frappe certains corps, elle leur donne la propriété de devenir ensuite lumineux par eux-mêmes. On donne à ce phénomène le nom de phosphorescence. Ce phénomène est connu de longue date. Vincenzo Casirolo, en 1602, observa le phénomène sur le *phosphore de Bologne*, sulfure de baryum impur obtenu en calcinant un mélange de sulfate de baryte et de gomme. On obtient un corps rayonnant, après insolation, une lumière jaune assez forte pour lire auprès, en calcinant des coquilles d'huîtres et chauffant le corps obtenu avec du soufre. On a ainsi un sulfure de calcium impur, connu sous le nom de *phosphore de Canton*. On a donné à ces phénomènes le nom de phosphorescence, à cause de la propriété qu'a le phosphore d'émettre de la lumière dans l'obscurité. Ce sont là des phénomènes tout à fait différents, puisque, dans le cas du phosphore, il y a simplement une oxydation accompagnée d'émission lumineuse, sans que la lumière ait besoin d'agir. Dans le cas de la phosphorescence, au contraire, il semble qu'il n'y ait pas d'action chimique due à l'air, et que les effets soient dus à quelque chose qui se passe dans le corps lui-même. Becquerel a en effet montré que les substances phosphorescentes conservent leur activité quand on les enferme dans des tubes scellés où on fait le vide, ou dans lesquels on met un gaz quelconque.

Les corps phosphorescents ont chacun un spectre particulier. Les moindres variations peuvent d'ailleurs avoir une action considérable sur la lumière ainsi émise. Les impuretés ont une action souvent prépondérante. L'état physique du corps est aussi très important. Becquerel a étudié divers sulfures de calcium obtenus en dissolvant dans l'acide azotique divers carbonates de chaux naturels et en précipitant par le carbonate d'ammoniaque. On a ainsi des corps qui donnent des phosphorescences diverses, et les sulfures qu'on en retire ont aussi des phosphorescences diverses. Il faut recommencer plusieurs fois la dissolution et la précipitation pour obtenir la même couleur de phosphorescence avec le sulfure provenant de l'arragonite et celui provenant du spath.

Ces phénomènes semblent prouver qu'il y a une modification moléculaire rapide sous l'action de la lumière dans les corps, et que l'état initial se reproduit lentement à l'obscurité, avec dégagement sous forme de lumière de l'énergie emmagasinée.

La durée de la phosphorescence est très variable suivant les corps. Le sulfure de strontium, par exemple, reste encore lumineux après 30 heures. D'autres corps cessent de luire beaucoup plus vite, le diamant luit quelques heures, l'arragonite 15 ou 20 secondes.

Ces différences considérables conduisirent Becquerel à chercher s'il n'y avait pas une propriété analogue, mais de durée beaucoup plus courte, sur un grand nombre de corps. Il créa alors le phosphoroscope. Deux disques de

centre o et o' sont montés sur le même axe, dont ils sont entièrement solidaires (fig. 188). Ils portent chacun quatre fenêtres aux extrémités de deux diamètres rectangulaires; a, b, c, d appartiennent au disque antérieur; a', b', etc., au postérieur; les fenêtres ne se correspondent pas, les disques sont décalés de 1/8 de circonférence. On fait tourner cet appareil en plaçant le corps à étudier entre les deux disques. On voit le corps quand une fenêtre du disque situé près de l'œil passe devant lui. Le corps est éclairé quand une fenêtre du disque opposé laisse arriver la lumière sur lui. On peut donc mesurer le temps qui s'écoule entre le moment où le corps est éclairé et celui où il cesse d'être vu. On connaît le nombre des fenêtres du disque, en faisant varier sa vitesse d'une manière continue, on note celle pour laquelle on cesse d'aper-

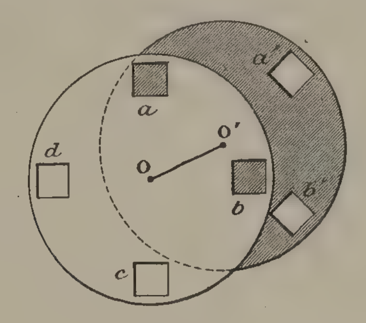


FIGURE 188.

cevoir le corps phosphorescent, et on en conclut immédiatement le temps pendant lequel dure la phosphorescence. Becquerel vit ainsi que la plupart des corps sont phosphorescents, mais que la durée de la phosphorescence est très variable. Le spath est phosphorescent pendant 1/3 de seconde, le verre pendant 1/20 de seconde, l'azotate d'urane pendant 1/100 de seconde.

Ce procédé d'étude de la phosphorescence montre nettement la transformation que subissent les rayons lumineux. La couleur des corps phosphorescents n'est pas la même en général que celle de la lumière excitatrice et souvent, avant de disparaître, la teinte de la lumière change notablement.

Quand on place les substances phosphorescentes dans un spectre, on s'aperçoit que ce sont les rayons violets et ultra-violets qui excitent la phosphorescence. On voit par cette étude que, en général, les rayons émis sont moins réfrangibles que les rayons excitateurs.

Quand on chauffe un corps phosphorescent insolé, on voit la phosphorescence augmenter un instant; mais elle disparaît plus vite qu'à froid. L'énergie emmagasinée est plus vite dissipée. De même, quand on place dans un spectre une lame de substance insolée, on voit dans le rouge et dans l'infra-rouge la phosphorescence augmentée un instant, puis éteinte. Ces rayons ont été appelés par Becquerel *rayons continuateurs*. Leur

action est, dans le cas de la phosphorescence, tout à fait analogue à ce qu'elle est dans celui de la photographie.

Ce phénomène a été employé par Becquerel pour étudier au moyen de la vue le spectre infra-rouge et en voir directement les raies.

La phosphorescence est vivement excitée, non seulement par la lumière, mais encore par les rayons cathodiques. Bien des substances même qui ne sont pas phosphorescentes par la lumière le sont par les rayons cathodiques.

§ 3. — **Fluorescence.**

Certaines substances jouissent de la propriété d'émettre, quand on les éclaire, des lueurs vives de couleur autre que la lumière excitatrice : on les nomme *substances fluorescentes*. Cet ordre de phénomènes est connu de longue date, Muschenbroëk au moins connaissait le phénomène pour le pétrole. Divers auteurs étendirent la propriété à un grand nombre de corps; Haüy, entre autres, au spath-fluor. C'est de là que vient le nom de fluorescence donné à ces phénomènes par Stokes, qui les a le mieux étudiés.

Herschell avait vu que la fluorescence, comme la phosphorescence, est due aux rayons les plus réfrangibles, bleus, violets et ultra-violets. On étudie avec des solutions de quinine ou de verre d'urane, le spectre ultra-violet, directement à la vue, et on y distingue des raies comme dans les autres régions. Le procédé d'Herschell consistait à étudier au spectroscope la lumière transmise par les substances fluorescentes et à montrer : 1° que les rayons ultra-violets, violets et bleus manquaient ; 2° que la lumière ainsi filtrée ne produisait plus la fluorescence.

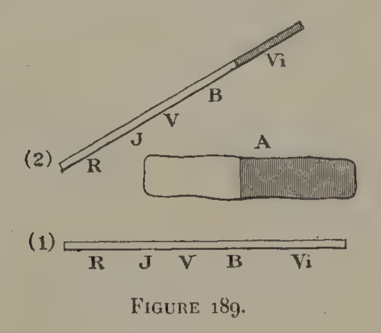


FIGURE 189.

Stokes étudia ces phénomènes par une méthode beaucoup plus sensible, dérivée de l'expérience bien connue des prismes croisés de Newton (1). Un petit trou vivement éclairé donne un mince spectre sur une substance fluorescente, au moyen d'un prisme à arêtes verticales. Celui-ci sert de fente pour un prisme à arêtes horizontales, qui donne alors un spectre oblique (2), puisque les rayons rouges sont moins déviés que les violets. Mais pour les radiations transformées par fluorescence, il y aura des lacunes dans le

spectre (2), remplacées par une tache lumineuse de réfrangibilité différente A. Stokes a vérifié aussi que la fluorescence était excitée par les rayons bleus, violets et ultra-violets, et que la tache A correspondait toujours à des radiations moins réfrangibles que la lumière excitatrice, c'est la loi de Stokes. Nous avons vu que Becquerel avait montré la même chose pour la phosphorescence ; aussi admit-il, avec raison, que la fluorescence était un phénomène limite de la phosphorescence, caractérisé par ce seul fait que la durée d'illumination était infiniment courte, non mesurable au phosphoroscope.

Les rayons qui excitent plus spécialement la fluorescence sont d'ailleurs assez variables suivant les substances. Stokes a montré par la méthode délicate décrite ci-dessus que beaucoup de substances sont fluorescentes : le bois, la corne, les os, les coquilles blanches, le cuir, la peau, les ongles, les feuilles.

Les substances les plus fluorescentes sont le sulfate de quinine, l'esculine, le pétrole, le verre d'urane, le curcuma. Ces substances ont des propriétés variables en général suivant leur état. Ainsi, les sels d'uranium sont plus fluorescents à l'état solide qu'en dissolution, les platino-cyanures ne sont pas du tout fluorescents en dissolution, au lieu que le rouge de naphtaliue n'est fluorescent que dissous, et que le curcuma est également fluorescent dans les deux cas.

Le verre d'urane chauffé perd momentanément la propriété de devenir fluorescent.

Certaines substances sont à la fois fluorescentes et phosphorescentes ; c'est de cette espèce qu'est la fluorescence du verre excitée par les rayons cathodiques aux points où il est frappé par ceux-ci. Il résulte d'expériences que j'ai faites, et non encore publiées, que le verre excité par les rayons cathodiques a une durée d'illumination notable, et que celle-ci passe du vert au jaune avant de disparaître.

§ 4. — Émission et diffusion.

Lambert a énoncé la loi suivante : l'émission (1) d'une surface lumineuse est inversement proportionnelle au cosinus de l'inclinaison ; soit une surface émissive AB (fig. 190), qu'on regarde à travers le diaphragme $\alpha\beta$. On a la même sensation que la surface soit dans la situation AB, ou dans la situation A'B. On a vérifié ce fait par des mesures thermoélectriques. Or, AB est la projection de A'B dans la direction d'observation, c'est ce qui s'exprime par la relation $AB = A'B \cos\alpha$. La sensation due à A'B étant la même que celle due à AB, et la surface émissive étant plus grande, il faut que l'émission dans la situation A'B soit inversement proportionnelle à la surface, c'est-à-dire

(1) C'est-à-dire la quantité d'énergie émise par unité de surface rayonnante.

que $\frac{\text{émission de AB}}{\text{émission de A'B}} = \frac{A'B}{AB} = \frac{A'B}{A'B\cos\alpha} = \frac{1}{\cos\alpha}$. C'est grâce à cette propriété que nous voyons sous forme d'un disque plat un boulet porté au rouge.

La conséquence immédiate de cette loi est que, si nous avons un corps lumineux plan limité, il paraîtra également éclatant sous tous les angles, et que, par conséquent, comme l'angle sous lequel il est vu diminue avec l'obliquité, l'intensité lumineuse totale émise dans une direction déterminée

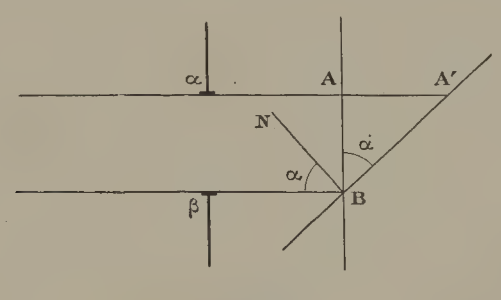


Figure 190.

sera inversement proportionnelle au cosinus de cette direction avec la normale à la surface.

Quand de la lumière frappe un corps dont le poli est faible, la lumière est diffusée dans toutes les directions. On vérifie à peu près, pour cette émission d'une espèce nouvelle, les mêmes propriétés que celles que nous venons de voir pour l'émission d'une source lumineuse par elle-même. Cependant la loi n'est jamais tout à fait exacte. Comme l'a montré Guillaume, ce résultat tient à ce que ce n'est pas exactement une couche superficielle qui est rendue diffusive et qui prend part à l'émission ; mais les radiations incidentes pénètrent à une certaine profondeur dans le corps diffusif, et de même les rayons émis peuvent traverser une certaine épaisseur de la couche superficielle. On ne peut donc pas dire qu'on ait exactement une surface lumineuse, on a un volume lumineux pour lequel les propriétés ne peuvent être les mêmes.

Ces différences sont poussées à l'extrême dans le cas de l'émission des rayons X. L'émission de ceux-ci peut en effet être comparée à un phénomène de diffusion. Les rayons cathodiques viennent frapper l'anticathode, pénètrent à une certaine profondeur, et le métal ainsi frappé jouit de la propriété d'émettre des rayons X.

On est ainsi dans le cas d'une émission par un volume d'épaisseur notable, Hertz ayant montré que les épaisseurs de métaux perméables aux rayons cathodiques étaient parfaitement mesurables. D'ailleurs, le coefficient d'absorption pour les rayons X est bien moindre que pour les rayons cathodiques. Guillaume en a conclu que l'émission totale ne devait pas dépendre de l'inclinaison. C'est ce qui avait été vu expérimentalement par Imbert et

Bertin Sans, et ce qui est vérifié quotidiennement par la pratique des rayons X.

La diffusion par les divers corps n'est d'ailleurs pas identique. Nous savons que, en lumière blanche, les corps ont des couleurs différentes. Quand on analyse leur lumière, on voit que certaines radiations qui se trouvent dans la lumière incidente manquent dans la lumière diffusée ; que d'autres radiations, au contraire, sont diffusées très énergiquement, c'est-à-dire que les premières radiations sont énergiquement absorbées par le corps, au lieu que les autres sont réfléchies.

C'est en effet à un phénomène analogue à la réflexion qu'on doit attribuer la diffusion. Soit une surface ondulée (fig. 191). Nous aurons par exemple un rayon ab réfléchi en bc, a_1b_1 réfléchi en b_1b_2, puis b_2c_1, a_2b_2 réfléchi en b_2c_2. A une même direction de rayons incidents correspond de la lumière renvoyée dans toutes les directions. Mais certains rayons seront absorbés,

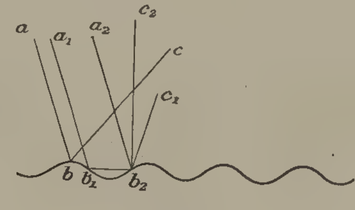


FIGURE 191.

d'autres ne le seront pas, et on démontre que, dans ces circonstances, la qualité de la lumière réfléchie est changée. C'est ainsi qu'on obtient une lumière vivement colorée en faisant réfléchir de la lumière sur plusieurs miroirs métalliques parfaitement polis. La lumière absorbée partiellement par les molécules de la surface peut aussi se réfléchir sur les molécules situées au-dessous, comme la lumière qui se réfléchit sur la face postérieure d'un verre coloré, et elle est colorée à son émergence.

Ces idées sur la nature de la diffusion se vérifient assez aisément. Si elles sont exactes, on doit pouvoir, en observant sous une incidence rasante de la lumière tombée sur la surface dans les mêmes conditions, obtenir des images nettes par réflexion, dues aux réflexions sur le sommet des irrégularités, la lumière plusieurs fois réfléchie étant éliminée. Il suffit de prendre une surface de verre enduite de noir de fumée pour vérifier immédiatement le fait. On a ainsi des images de qualité très convenable.

On comprend aisément que le degré de poli nécessaire pour supprimer la diffusion doit varier avec la longueur d'onde. Il faut en effet que les parcours tels que b'_1b_2 ne soient pas négligeables pour que la diffusion telle que nous l'avons décrite se produise. Cela se vérifie bien pour les ondulations électriques. Il n'y a aucun besoin de poli pour obtenir des réflexions régulières avec des ondulations qui ont quelques centimètres de longueur d'onde.

Il faut, au contraire, un poli parfait pour obtenir une bonne réflexion avec les ondulations courtes, bleues, violettes et ultra-violettes.

§ 5. — Résumé des transformations de la lumière par les corps.

En somme, quand de la lumière vient frapper un corps, elle subit un grand nombre de transformations.

Une partie est réfléchie suivant les lois bien connues, c'est-à-dire qu'elle suit son nouveau trajet en se propageant comme si elle était émise par le symétrique de la source par rapport à la surface.

Une partie est réfractée, c'est-à-dire qu'elle suit son nouveau trajet avec la condition que ses ondulations sont identiques à ce qu'elles seraient si elles étaient émises par l'image de la source elle-même.

Une partie est diffusée. Les rayons qui la composent n'ont plus aucune corrélation avec la source. On doit considérer la surface diffusive comme une nouvelle source vibrant pour son propre compte. Il y a en effet dans une même direction des rayons dont les uns ont subi une réflexion, d'autres plusieurs réflexions, d'autres plusieurs réflexions et réfractions. La vibration est la résultante de toutes ces vibrations complexes, et il n'y a plus de relation simple entre celle-ci et la vibration initiale. Dans ce qu'on nomme la lumière diffusée, il n'y a pas transformation de radiations, les radiations éclairantes rouges, par exemple, donnent de la lumière diffusée rouge, les bleues donnent de la lumière diffusée bleue. La couleur est due à des absorptions variables avec la longueur d'onde.

L'illumination d'un corps diffusif cesse immédiatement après que la lumière excitatrice a cessé d'agir.

Dans la fluorescence, le corps prend une couleur propre et devient une source nouvelle, comme dans le cas de la diffusion, mais avec deux différences : 1° le poli n'intervient pas, la surface libre d'un liquide parfaitement pur peut donner une fluorescence extrêmement intense ; 2° la lumière émise par fluorescence n'est pas la même que celle qui excite la fluorescence ; nous l'avons vu par les expériences de Stokes. La fluorescence, comme la diffusion, cesse aussitôt que la lumière excitatrice cesse elle-même.

Dans la phosphorescence : le phénomène se complique encore, non seulement le corps devient une nouvelle source, comme dans la diffusion, non seulement la couleur de cette source n'est pas la même que celle de la source éclairante, mais de l'énergie est emmagasinée, elle se libère pendant un temps plus ou moins long après que la lumière excitatrice a cessé d'agir.

§ 6. — Propriétés électriques de l'ultra-violet.

Les rayons ultra-violets ont, comme nous l'avons vu déjà, de très curieuses propriétés ; ces rayons, dont l'énergie est trop faible pour être décelée par nos moyens ordinaires d'investigation, jouissent des propriétés si curieuses d'exciter les réactions chimiques, la phosphorescence, la fluorescence. Ils

ont une propriété plus curieuse encore, celle de décharger les corps électrisés.

Le phénomène fut découvert par Hertz, qui, observant son résonateur, dont nous avons dit un mot ci-dessus, s'aperçut que la distance explosive était plus grande quand il était éclairé par la lumière de l'étincelle primaire que quand il était à l'obscurité. Il vit encore qu'une étincelle produite par une autre bobine avait le même effet. Il démontra enfin que ce phénomène ne dépendait aucunement des actions électriques, mais de la lumière elle-même. En employant une source lumineuse quelconque riche en rayons ultra-violets, les phénomènes sont les mêmes. Les rayons actifs dans ces expériences traversent le quartz, comme nous l'avons déjà vu ; on a donc pu étudier les modifications du phénomène dans les différents gaz et aux différentes pressions.

Wiedemann et Ebert ont opéré en éclairant ainsi, au moyen de la lumière de l'arc électrique, les boules d'un excitateur mis en communication avec une machine de Holtz, dans le circuit de laquelle se trouvait un tube de Geissler. Ils ont vu que, en éclairant la boule positive, l'aspect du tube de Geissler ne changeait pas, au lieu qu'il changeait aussitôt que la lumière tombait sur la boule négative. Les effets varient avec la nature des métaux, et aussi avec celle du gaz qui les baigne.

Hallwachs a repris l'expérience sous la forme la plus simple. Un électroscope bien isolé (fig. 192) est muni d'un plateau A ; on le charge par la

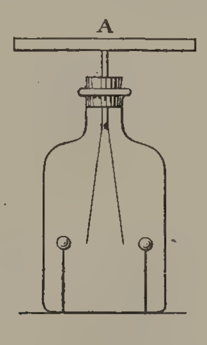


Figure 192.

méthode ordinaire, et, s'il est bien isolé, on constate que la déperdition est extrêmement lente. Puis, on éclaire vivement le plateau A. S'il est positif, aucun effet ne se produit, ou à peu près ; s'il est au contraire négatif, on voit les feuilles d'or converger très rapidement ; la nature de la substance éclairée influe d'ailleurs beaucoup sur le phénomène. Hallwachs a pu ainsi étudier les substances qui absorbent les radiations actives. Il a trouvé, parmi les corps transparents, le quartz, le gypse, le spath-fluor, et parmi les non transparents, le verre et le mica. Il détermina mieux encore les radiations actives, en employant un spectre, et il vit que les radiations violettes et ultra-violettes sont les seules actives.

Righi et Stoletow montrèrent que l'action se produit même dans le cas de très faibles potentiels.

Bichat et Blondlot montrèrent que l'action ne se produit pas quand on emploie une surface liquide comme corps chargé et éclairé, et que l'eau laisse passer les radiations actives qui produisent l'effet de décharge. Ils employèrent comme source de lumière l'arc électrique produit entre deux charbons munis d'âmes d'aluminium. Dans ces conditions, l'arc produit est extrêmement riche en radiations ultra-violettes. On peut aussi employer les charbons à âme de magnésium.

Ces auteurs ont vu que le transport électrique devait se faire par voie de convection, car un courant d'air injecté sur le corps déchargé par la lumière augmente considérablement l'action, au lieu que le courant d'air seul ne produit pas de décharge sensible. Ils ont vu aussi que, en prenant un grillage et un plateau très voisins l'un de l'autre et mis en connexion respectivement avec les deux plateaux d'un électromètre, et en éclairant le système, le plateau prend une charge positive, c'est-à-dire qu'il perd de l'électricité négative. Righi a montré que, pour les différents métaux, l'effet était différent, le potentiel final variant de 1 à 3 volts.

La lumière du soleil a peu d'effet de cette nature. Cela tient à ce que l'air atmosphérique absorbe beaucoup les radiations ultra-violettes, qui sont les plus actives. Pour obtenir de vraiment bons résultats, il faut opérer avec des sources lumineuses placées à distance assez petite et très riches en rayons actiniques, comme le magnésium ou l'arc électrique.

Lénard vient de montrer (octobre 1900) que la décharge des corps électrisés se produisait même quand un rayon ultra-violet rencontrait seulement les lignes de force qu'il émet ; il a ainsi répété les expériences faites au moyen des rayons X par Perrin en 1896-97. Nous parlerons tout à l'heure de ces expériences, quand nous ferons la comparaison des propriétés de la lumière et de celle des rayons X.

CHAPITRE V

ABSORPTION. — SON ROLE DANS L'ÉTUDE DES RADIATIONS DONT ON NE PEUT MESURER LA LONGUEUR D'ONDE

§ 1. — Loi de l'absorption.

Quand de la lumière vient rencontrer un corps dit transparent, elle le traverse, subissant le phénomène de la réfraction. Mais l'intensité de la lumière n'est pas conservée : quelle que soit l'épaisseur traversée, elle diminue quand celle-ci augmente.

Il n'y a pas de corps absolument opaques, et il n'y a pas de corps absolument transparents. Ainsi les métaux, qui nous paraissent tout à fait opaques, ne le sont pas quand ils sont réduits en couche infiniment mince. L'or battu laisse passer des radiations vertes, l'argent laisse, même sous une épaisseur notable, passer l'ultra-violet, le verre platiné laisse passer également à peu près toutes les radiations visibles. De même le verre, qui nous semble si complètement transparent, absorbe notablement la lumière quand il est sous une épaisseur notable. Il en est de même de l'eau, de l'air même.

Un corps donné n'absorbe pas également toutes les radiations. Quand on analyse la lumière qui a traversé un corps transparent, on trouve que certaines radiations sont très affaiblies, que d'autres ont traversé presque complètement.

Prenons d'abord une radiation dite simple. Il est bien évident que, si une couche absorbante d'une épaisseur donnée est interposée sur un rayon lumineux, elle laissera passer une certaine quantité de lumière incidente.

Prenons maintenant deux couches absorbantes identiques consécutives. La première laissera passer une fraction $\frac{1}{p}$ donnée de la lumière incidente, la seconde laissera passer la même fraction de la lumière qui a traversé la première, c'est-à-dire la fraction $\frac{1}{p} \times \frac{1}{p} = \frac{1}{p^2}$ de la lumière incidente. L'épaisseur traversée ayant crû en progression arithmétique, la lumière restante a

décru en progression géométrique. C'est ce que l'on exprime par la formule $I = I_0 a^x$. I est l'intensité restante quand la lumière d'intensité initiale I_0 a traversé une épaisseur de la substance dont le coefficient de transmission est a.

On voit donc que, pour peu que a ait une valeur notable, la loi de décroissance d'un rayon lumineux qui traverse le corps absorbant est très rapide.

§ 2. — **Couleur des corps transparents.**

On nomme corps incolores ceux qui laissent passer également tous les rayons du spectre. Ceux pour lesquels certains rayons sont absorbés sélectivement se nomment corps colorés. Un grand nombre d'entre eux présentent ce qu'on nomme des bandes d'absorption. Dans le spectre de la lumière transmise, on trouve que les parties voisines passent presque complètement.

Les verres colorés par l'oxydule de cuivre ne laissent passer que le rouge, les autres radiations sont à peu près absorbées. Les verres colorés par le bleu de cobalt, les solutions de permanganate de potasse, présentent des bandes d'absorption réparties sur tout le spectre. Il existe des verres verts qui ne laissent passer que la partie la plus réfrangible du spectre.

Quand on superpose deux verres de même composition, on épure les couleurs qui sont le mieux transmises. Quand on superpose deux verres de couleurs différentes, on obtient seulement les radiations qui peuvent traverser à la fois l'un et l'autre. Ainsi, un verre rouge superposé à un verre bleu ne laisse passer presque aucune lumière. Chacun des deux est très lumineux, l'ensemble est presque complètement opaque.

Ceci semble étonnant au premier abord, quand on songe que le mélange des couleurs sur une palette ne suit pas la même loi, et que le mélange des couleurs rouge et bleue donne du vert. Si on mélangeait objectivement sur la rétine les deux couleurs spectrales qui sont données par les deux verres, on n'obtiendrait ni l'un ni l'autre des effets ci-dessus, mais un blanc lavé de pourpre. On voit donc qu'il faut faire grande attention avant de dire ce qui traverse un ensemble de corps absorbants. Il faut connaître le spectre d'absorption de chacune des substances, et alors seulement on peut conclure ce qui passera à travers l'ensemble des deux.

La température a une action considérable sur l'absorption lumineuse. Il y a des minéraux transparents et des verres colorés qui passent du rouge au vert quand on les chauffe, pour redevenir rouges par refroidissement. Quand on chauffe fortement une lame d'or mince transparente au vert, elle devient incolore, en même temps qu'elle réfléchit moins de lumière. Les feuilles d'argent mince du commerce sont absolument opaques ; mais au rouge sombre elles deviennent translucides et perdent en même temps leur pouvoir réflecteur.

§ 3. — Thermochrose.

Ces phénomènes un peu complexes peuvent être utilisés dans certains cas. C'est ainsi que, en se basant sur ces principes, Melloni a pu étudier en détail la chaleur rayonnante, alors que les moyens dont il disposait ne lui permettaient pas d'obtenir un spectre infra-rouge et de l'étudier directement. Nous avons indiqué ci-dessus les résultats auxquels on est arrivé dernièrement par l'étude directe du spectre infra-rouge. Jusqu'à ces derniers temps, les recherches de Melloni, si dépassées depuis son temps, semblaient devoir être relégués dans l'histoire de la physique. Mais comme les rayons X sont venus nous révéler un ordre de fait vis-à-vis duquel nous sommes aussi désarmés que Melloni l'était vis-à-vis des radiations calorifiques obscures, et que les procédés mêmes de Melloni ont été employés pour l'étude des radiations nouvelles, je vais indiquer le principe de sa méthode.

Un corps donné ayant une absorption sélective, comme nous venons de l'indiquer pour la lumière, peut servir de filtre à radiations. Des sources différentes ne donneront pas le même effet à travers un milieu de cette nature. Prenons, par exemple, un verre coloré au bleu de cobalt et plaçons-le dans le rouge du spectre, il paraîtra rouge spectral, car il laisse passer un peu de cette couleur. Dans le bleu, il paraîtra bleu, car il laisse passer du bleu. La teinte du verre changera suivant la couleur de la source, même si celle-ci émet des radiations complexes.

Pour la chaleur, les thermomètres ne sont aucunement comparables à notre œil, car, s'ils mesurent l'énergie de la radiation, ils ne nous renseignent aucunement sur sa qualité. Mais le fait même qu'ils donnent de bonnes mesures quantitatives permet cependant une analyse assez précise. C'est en se basant sur cette propriété que Delaroche, en 1814, montra que les rayons calorifiques étaient de différentes espèces. Il montra d'abord que, la fraction de la chaleur émise par une source donnée absorbée par une lame donnée étant p, la fraction du faisceau émergent de cette lame, absorbé par une lame identique, sera p', plus petit que p. Cette première expérience lui ayant à peu près démontré la complexité des rayons calorifiques, d'après le raisonnement fait ci-dessus pour les lumières, il mit le fait hors de doute en montrant que des sources différentes émettaient des rayonnements absorbés différemment par une même lame transparente. La fraction de l'intensité absorbée par cette lame varie avec la source.

La lame étant identique, pour que l'absorption ne soit pas la même, il faut que la radiation incidente soit elle-même changée.

Cette observation de Delaroche fut développée par Melloni, puis par de La Provostaye et Desains, puis par Tyndall. Melloni créa une série de termes pour désigner les propriétés de corps relativement à la chaleur rayonnante. Il nomma *diathermanes* les corps qui laissent passer la chaleur, *adiathermanes*

ceux qui ne la laissent pas passer, *thermochroïques* ceux qui absorbent sélectivement la chaleur, c'est-à-dire qui sont analogues aux corps transparents colorés, *athermochroïques*, ceux qui ne présentent pas cette propriété.

Il se servit pour ces mesures de plusieurs sources de radiations obscures : un cube de Leslie en cuivre à faces noircies contenant de l'eau bouillante, une lampe de Locatelli, c'est-à-dire à huile et sans verre, une spirale de platine chauffée dans la lampe à alcool, ou une lampe munie d'une cheminée en cuivre, chauffée ainsi à 300° ou 400°. Ces conditions sont assez mal définies, mais elles le sont aussi bien que celles où on peut se placer actuellement pour l'étude des rayons X ; c'est pour cela que nous indiquons ici les résultats déjà fort beaux ainsi obtenus.

Je donnerai un tableau obtenu par Melloni, avec des lames ayant toutes $2^{mm},6$ d'épaisseur, les chiffres indiquent la proportion de radiation calorifique transmise :

	Lampe de Locatelli	Platine au rouge	Cuivre noirci à 100° environ	Cuivre noirci à 100°
Sel gemme pur.	92	92	92	92
Sel gemme louche	65	65	65	65
Spath d'Islande.	39	28	6	0
Verre à glace.	39	24	6	0
Cristal de roche	38	28	6	0
Tourmaline verte.	18	16	3	0
Sulfate de chaux.	14	5	0	0
Acide citrique	11	2	0	0
Alun.	6	2	0	0
Glace très pure	6	0	0	0

Je laisse de côté les résultats de Tyndall, qui a repris ces expériences pour les liquides et les vapeurs. Nous voyons par ce tableau que le sel gemme est complètement diathermane. On le vérifie mieux encore en employant des lames d'épaisseurs différentes, qui donnent toutes à peu près la même fraction transmise. On doit donc penser que la fraction qui n'est pas transmise est simplement réfléchie sur les faces de séparation. L'expérience directe le montre d'ailleurs. Le sel gemme finit cependant par montrer, pour la chaleur rayonnante, une absorption du même ordre que celle des bons crowns pour la lumière, quand on l'emploie sous une forte épaisseur. Il est d'ailleurs athermochroïque, comme le montre le tableau, puisqu'il transmet la même proportion des radiations émises par toutes les sources employées. Pour les autres substances, on voit qu'elles interceptent des proportions très différentes de l'intensité des diverses sources. Elles sont d'autant plus opaques que la source est à température moins élevée. On peut donc affirmer qu'elles sont *thermochroïques*.

Melloni a aussi opéré sur des systèmes de deux lames absorbantes. Citons encore un de ses tableaux. Dans la première colonne est la fraction o/o transmise par chacune de ces lames pour la lampe de Locatelli ; dans

les colonnes suivantes sont les fractions o/o transmises quand la radiation de la lampe de Locatelli a été filtrée par les lames indiquées.

		Substances traversées d'abord :				
	Rayons directs de la lampe de Locatelli	Alun $2^{mm},6$	Sulfate de chaux $2^{mm},6$	Chromate de potasse $2^{mm},6$	Verre vert $1^{mm},85$	Verre noir $1^{mm},85$
	—	—	—	—	—	—
Sel gemme ($2^{mm},6$)......	92	92	92	92	92	92
Spath d'Islande ($2^{mm},6$)..	39	91	89	56	59	55
Verre ($0^{mm},5$)...........	54	90	85	68	87	80
Cristal de roche ($2^{mm},6$)..	38	91	85	52	78	54
Mica noir ($0^{mm},9$)........	20	0,4	12	16	38	43
Tourmaline verte ($2^{mm},6$).	18		10	14	24	30
Sulfate de chaux ($2^{mm},6$).	14	59	54	22	9	15
Acide citrique ($2^{mm},6$)....	11	88	52	16	3	2
Alun ($2^{mm},6$).............	9	90	47	15	0,5	0,3

Ce tableau montre sans doute possible que ces diverses substances présentent des bandes d'absorption tout à fait analogues à celles que les corps transparents colorés nous présentent pour la lumière. Ainsi, il est certain que le mica noir et l'alun ont des bandes d'absorption qui ne coïncident pas, puisque, chacun étant diathermane, l'ensemble est presque opaque.

Melloni a vérifié que, si on met à la suite deux ou plusieurs lames absorbantes, l'effet était indépendant de l'ordre dans lequel ces lames sont placées. Insistons un peu sur ce fait.

Dans l'hypothèse de l'absorption simple où nous nous sommes placés ici, l'ordre des lames doit être indifférent. En effet, les radiations ne subissent aucune transformation par leur passage, mais seulement une absorption.

Si, au contraire, les radiations subissaient une transformation quelconque, si elles n'avaient pas, dans les idées modernes, la même longueur d'onde après avoir traversé la lame absorbante, les effets seraient changés par l'interversion.

Prenons un exemple dans le domaine de la lumière, soit une radiation ultra-violette, qui sera susceptible de rendre fluorescente en vert de la fluorescéine, et qui sera absorbée par un flint, qui laissera, au contraire, très bien passer la lumière verte de la fluorescéine. Plaçons ces lames dans l'ordre suivant : flint, fluorescéine. Nous ne verrons absolument rien. Mais inversons l'ordre, plaçons d'abord la fluorescéine ; nous verrons parfaitement l'illumination verte, car la radiation ultra-violette aura été transformée avant d'arriver sur le flint en une radiation que celui-ci laisse passer. C'est pour cela que, dans l'étude de l'ultra-violet par fluorescence, on emploie des objectifs et des prismes en quartz ou en spath-fluor, mais que le verre qui porte le sel d'uranium et celui de l'oculaire n'ont aucune importance.

J'insiste sur ce point, qui a été mis en relief par Sagnac, dans son étude

des rayons secondaires produits par les rayons X, et qui a permis de démontrer sans discussion possible que les rayons X subissent à la surface des métaux une transformation tout à fait analogue à la fluorescence.

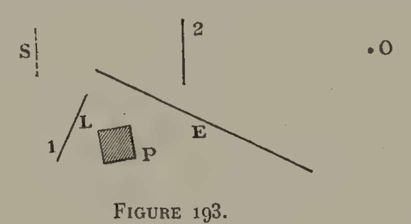


FIGURE 193.

Je n'ai que peu à dire maintenant sur les études par lesquelles Melloni a montré l'existence de la diffusion simple pour les rayons calorifiques. Une pile thermo-électrique P donnait une indication quand on éclairait une surface S au moyen d'une source O contre laquelle la pile était protégée au moyen d'un écran E. En interposant une lame L d'abord en 1, puis en 2, aucune différence ne se produisait dans l'indication de la pile. Il n'y a donc aucun phénomène analogue à la fluorescence pour les rayons infra-rouges, au moins pour les radiations telles que Melloni pouvait les produire et les absorber.

§ 4. — **Comparaison des rayons X et de la lumière.**

D'autres étudieront en détails les propriétés physiques des rayons X. Nous allons seulement ici les rappeler très succinctement et résumer ce qui rapproche les rayons X de la lumière, et ce qui rend cependant les affirmations difficiles. Nous avons déjà indiqué dans le cours des chapitres précédents les points essentiels ; il nous semble cependant utile de les rappeler ici.

Les rayons X furent découverts par leur action sur la plaque photographique. C'est là une propriété qui les rapproche des rayons ultra-violets. Cependant, les rayons cathodiques, qui jouissent de la même propriété, sont dus, avec une probabilité très grande, à des molécules électrisées se mouvant avec une vitesse de l'ordre du tiers de celle de la lumière. De même, les rayons X excitent la fluorescence, fait découvert par Röntgen en même temps que l'action photographique, et qui leur est commun avec les radiations ultra-violettes et les rayons cathodiques.

On peut donc, d'après ces propriétés, hésiter à attribuer les rayons X à des flux matériels ou à des ondulations. L'action calorifique qu'ils produisent ne peut servir à préciser leur nature. Les rayons cathodiques ont aussi une action puissante de cette nature, et il semble que l'ultra-violet, tel que nous le connaissons, n'en possède pas. Mais c'est là uniquement une question de grandeur de la puissance disponible. Il est bien évident que, si les sources connues donnaient de l'ultra-violet avec une puissance suffisante, on pourrait obtenir des effets calorifiques. La sensibilité seule du thermo-

mètre arrête les recherches dans cette voie. Nous pouvons donc considérer les rayons X comme de l'ultra-violet émis avec une très grande énergie, sans être en contradiction avec aucun des faits.

Ceci concorde bien avec son action sur les corps électrisés, quoiqu'il y ait une différence notable. La lumière ultra-violette décharge en effet les corps électrisés négativement bien plus que les corps électrisés positivement; les rayons X déchargent indifféremment tous les corps électrisés. Mais ce n'est pas là encore une propriété incompatible avec la nature lumineuse des radiations X. Dans le spectre solaire même, en effet, il y a des radiations qui n'ont aucun effet sur les corps électrisés, et d'autres, les violettes et ultra-violettes surtout, qui ont un effet considérable. On peut donc admettre rationnellement que les radiations X sont des ondulations plus rapides que l'ultra-violet le plus rapide que nous connaissions dans les sources lumineuses. Une simple modification de la propriété de décharge des corps électrisés ne peut sembler suffisante pour les exclure du spectre.

Les expériences sur la propagation rectiligne sans diffraction nous montrent que ces radiations sont très rapides (Gouy a montré que les oscillations qui les produisent doivent être au moins cent fois plus rapides que l'extrême ultra-violet), si on admet leur périodicité complète. Mais on peut, avec Stokes, penser que les rayons X sont dus à une perturbation amortie,

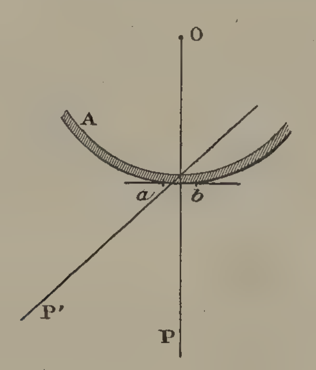


FIGURE 194.

à une série d'impulsions isolées. Dans ce cas, on ne peut considérer, comme nous l'avons fait ci-dessus des zones alternativement concordantes et discordantes, situées sur une même surface idéale d'onde; mais on voit que dans ce cas, le mouvement émané du point O existera dans une région A ayant une certaine épaisseur (fig. 194). En admettant que cette épaisseur est très petite, on voit que, dans la direction OP, une fente *ab* enverra de l'énergie, mais que dans la direction de P', il n'y aura aucun effet, si P' n'est pas infiniment voisin de P. Dans le cas des ondes à mouvement périodiqne stable, il y a une série de bandes analogues à A, alternativement concordantes et discordantes, et tout se réduit à peu près à l'action de la surface d'onde limite passant par la fente *ab*.

On voit donc que l'absence de diffraction ne peut nous éclairer exactement sur la nature des rayons X. Il en est de même de l'absence de réflexion et de réfraction. Leur vitesse, mesurée par Blondlot, les classe au contraire dans les phénomènes lumineux.

Nous avons vu en effet ci-dessus comment, d'après Raveau et Goldhammer, on pouvait expliquer cette absence de réflexion et de réfraction dans l'hypothèse d'une ondulation périodique très rapide. On l'explique aussi, indépendamment de toute hypothèse sur sa rapidité de vibration, dans le cas des pulsations isolées. On démontre en effet que, quand une ondulation se produit, le *front de l'onde* se propage dans tous les milieux avec la même vitesse, et que c'est seulement par la périodicité que la modification de vitesse se produit, avec ses phénomènes corrélatifs de réflexion, de réfraction et de dispersion.

En résumé, nous pourrons dire avec une grande probabilité que les rayons X sont dus à des ébranlements qui atteignent leur maximum M dans un temps O*t* très court, au moins aussi court que celui que prennent pour le même objet les radiations ultra-violettes. Cette hypothèse est rendue, me semble-t-il, à peu près nécessaire par l'action photographique, par l'excitation de la florescence, par la décharge des corps électrisés et par l'égalité des vitesses. Il semble bien que ce temps doit être plus court encore que pour l'ultra-violet, car la décharge des corps électrisés prend un caractère nouveau sur lequel nous avons insisté déjà. Quant à la question de savoir si le retour à l'équilibre se fait par une longue série d'oscillations analogues à

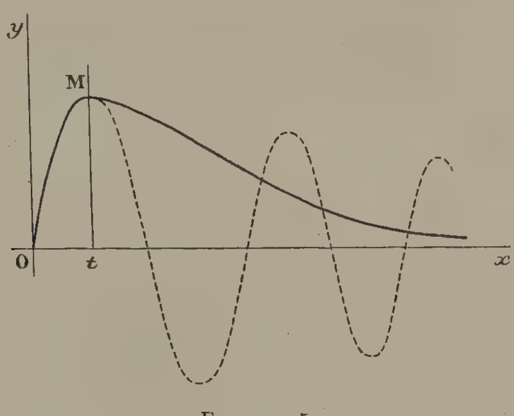


FIGURE 195.

celles qui sont tracées en pointillé sur la figure ou par une courbe lentement amortie, comme celle qui est représentée en traits pleins, nous n'avons aucune raison pour la résoudre dans un sens ou dans l'autre.

Docteur A. BROCA,
Professeur agrégé à la Faculté de Médecine,
Répétiteur à l'Ecole Polytechnique.

II. — ETUDE DES RAYONS CATHODIQUES ET DES CORPS RADIO-ACTIFS

CHAPITRE PREMIER

RAYONS CATHODIQUES

§ 1. — Aspects de la décharge électrique dans les gaz raréfiés.

Lumière positive, lumière négative, espace obscur de Hittorff. — Le passage de la décharge électrique dans les gaz raréfiés se traduit par des phénomènes de luminescence caractéristiques du sens du courant et facilement observables à des pressions de l'ordre du millimètre de mercure. Dans un tube de verre muni d'électrodes métalliques et contenant par exemple de l'air à 1 centimètre de pression, la décharge d'une bobine d'induction, d'un transformateur ou d'une forte machine statique se manifeste par les apparences suivantes :

De l'électrode positive ou *anode* part une colonne lumineuse rouge violacé, qui se dirige vers l'électrode négative, mais se termine avant de

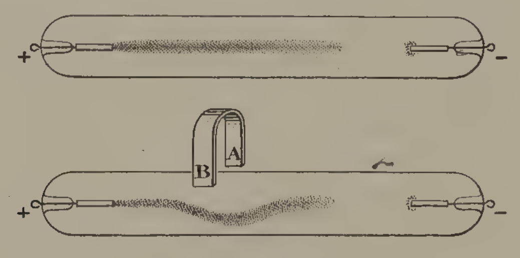


Figure 196.

l'atteindre : elle en reste séparée par *l'espace obscur de Faraday ;* c'est la lumière positive. Dans un champ magnétique elle s'infléchit passagèrement, à la manière d'un conducteur flexible, mais tendu, parcouru par le courant. La figure 196 représente l'aspect de la lumière positive et l'inflexion que lui imprime un champ magnétique.

Si on réduit progressivement la pression, cette colonne lumineuse augmente de volume, mais en même temps elle pâlit et, si le tube ne présente ni coudes ni étranglements, elle finit par disparaître.

Autour de l'électrode négative, la luminosité se présente au contraire comme une gaine, violette dans l'air, jaune dans l'oxygène pur, rose si le gaz est l'hydrogène ou la vapeur d'eau. Tant que la pression reste voisine de 1 centimètre de mercure, cette gaine ne recouvre qu'une superficie de quelques millimètres carrés. Si on accroît la raréfaction, elle s'étend d'abord de plus en plus, jusqu'à couvrir toute la surface de l'électrode négative ou *cathode*. En même temps, elle augmente notablement d'épaisseur ; puis de nouveau elle se limite à une région de plus en plus restreinte de la cathode ; si celle-ci est constituée par un fil placé axialement dans un tube cylindrique, l'extrémité libre du fil devient finalement seule active.

Extérieurement la gaine négative se fond insensiblement dans l'espace sombre de Faraday ; intérieurement elle est limitée nettement par une surface équipotentielle d'autant plus éloignée de la cathode que le vide est plus avancé. Un nouvel espace sombre (espace obscur de Hittorff) remplit l'intérieur de cette surface équipotentielle. Enfin, au contact immédiat de l'électrode existe une dernière couche lumineuse rosée, visible seulement quand la pression descend au-dessous du dixième de millimètre. Cette luminosité n'existe que sur les régions de la cathode enveloppées par la gaine négative.

La figure 197 montre la forme de la lumière négative et l'extension progres-

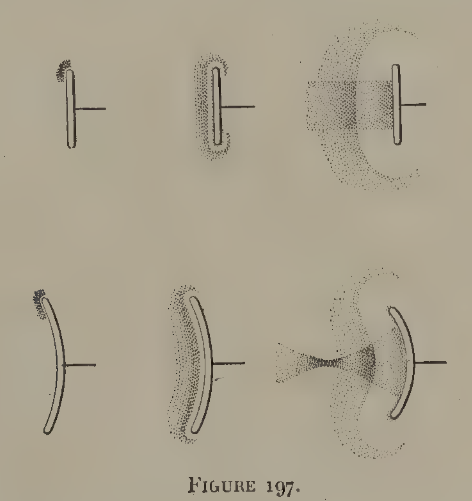


FIGURE 197.

sive de l'espace obscur de Hittorff à des pressions de plus en plus basses.

D'après Plücker, la gaine négative se comporte entre les pôles d'un aimant comme une substance paramagnétique et se dispose suivant les lignes de force, ou plus exactement figure un tube de force (fig. 198).

La lumière négative, l'espace sombre de Hittorff et la couche adhérente

à la cathode sont le siège de la production des rayons cathodiques, découverts par Hittorff en 1868.

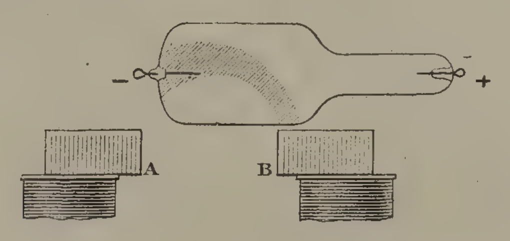


Figure 198.

Résistance électrique des tubes à décharges. — Un milieu gazeux n'est aucunement comparable à un conducteur métallique ; le courant qui le traverse est discontinu, et son intensité n'est pas régie par la loi d'Ohm. M. Bouty a montré qu'il n'est pas non plus assimilable à un électrolyte.

On ne connaît pas exactement la loi qui relie l'intensité du courant, dans un tel milieu, à la force électromotrice agissante ; on sait seulement qu'au-dessous d'une certaine valeur de la différence de potentiel aux électrodes, valeur qui dépend de la nature du gaz, de sa pression, de la forme du tube, le gaz se comporte comme un diélectrique parfait (M. Bouty). Il n'est traversé par aucun courant. Si la différence de potentiel dépasse la valeur en question, la décharge se produit, l'intensité du courant étant d'ailleurs d'autant plus grande que la force électromotrice est plus considérable.

Il faut au moins 300 volts pour obtenir une décharge électrique dans un gaz. Cette différence de potentiel n'est d'ailleurs suffisante qu'à des pressions de l'ordre du millimètre de mercure. Si on fait croître la raréfaction, le *potentiel explosif* augmente de plus en plus rapidement ; dans les tubes à rayons cathodiques ou *tubes de Crookes*, il équivaut à plusieurs dizaines de mille volts. Le vide absolu serait certainement infranchissable pour la décharge électrique.

Deux particularités remarquables sont à signaler, au sujet de cette question :

Une force électromotrice aussi petite qu'on veut, 1 volt par exemple, suffit pour produire un courant dans un gaz entre deux électrodes que nous désignerons par A et B, si en même temps une décharge auxiliaire est produite dans le même tube entre deux autres électrodes C et D. Ce phénomène n'est pas différent de celui de la décharge des corps électrisés (égalisation des potentiels) par les gaz modifiés par les étincelles électriques à la pression ordinaire. Dans les deux cas, le gaz a acquis une sorte de conductance.

La seconde particularité est relative aux corps incandescents : une cathode incandescente n'oppose au passage du courant qu'une résistance au moins cent fois plus petite qu'une cathode froide. C'est ainsi que le bout

négatif d'une lampe à incandescence en activité émet des charges négatives (effet Edison) même avec des lampes de 10 volts, c'est-à-dire pour une différence de potentiel bien inférieure à la limite indiquée plus haut et négligeable devant les milliers de volts qui seraient nécessaires pour obtenir, à froid, une décharge dans le gaz raréfié de la lampe.

Ce phénomène est analogue à celui de la décharge des corps électrisés au voisinage d'un corps chauffé au rouge vif.

Faisceau cathodique. — Soit une ampoule ovoïde ou sphérique V (fig. 199), munie d'une cathode C en forme de miroir concave (le revers étant protégé par du verre) et de deux ou trois anodes diversement situées, telles que A, A′, A″. Le vide étant fait par exemple sur de l'air à $0^{mm},1$ environ, la lumière négative violette remplit toute l'ampoule, l'espace obscur s'étend à quelques millimètres en avant de la cathode et on distingue déjà une concentration de lumière suivant un cône ayant pour base le miroir concave et pour sommet le centre de courbure de celui-ci. Quant à la lumière positive, incompatible avec la lumière négative, elle est complètement absente.

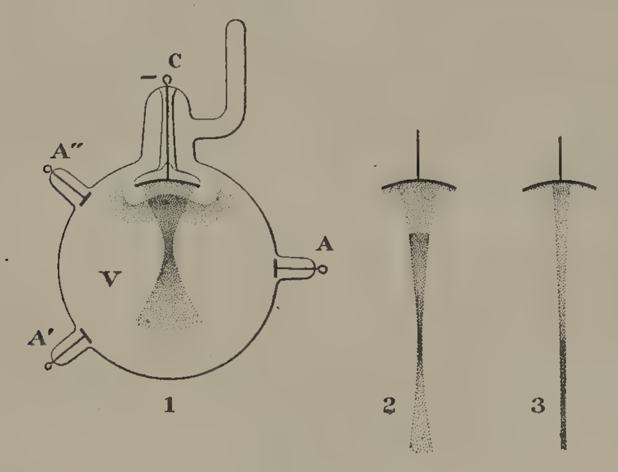


FIGURE 199.

Si on fait décroître la pression, le cône en question se détache de plus en plus nettement sur la luminosité ambiante, dont l'éclat diminue progressivement. L'aspect est alors celui d'un faisceau de lumière convergente traversant un milieu trouble, et l'idée de rayonnement vient immédiatement à l'esprit de l'observateur. L'expression de *rayons cathodiques* est d'ailleurs d'autant plus juste qu'au lieu de désigner, comme en optique, une ligne de construction, le mot rayon correspond ici à une réalité physique : comme on le verra plus loin, chaque rayon représente la trajectoire d'une particule électrisée, et le faisceau total contient à un instant donné un *nombre limité de rayons*.

A peine visible dans l'espace obscur, où il est rose violacé, le cône

cathodique prend subitement un éclat notable en franchissant la limite de cet espace. Sa couleur, à partir de ce moment, varie avec la nature du gaz raréfié : elle est violette dans l'air, jaune dans l'oxygène, rose dans l'hydrogène ou la vapeur d'eau, vert bleuâtre avec l'hydrogène mélangé de vapeurs de mercure.

A partir d'une certaine raréfaction, variable avec les dimensions de l'ampoule, le faisceau cathodique marque sa trace sur la paroi en faisant apparaître sur celle-ci une fluorescence spéciale, verte pour le verre, bleue avec le cristal.

A mesure que la pression diminue, la base du cône des rayons se rétrécit de plus en plus. En même temps, son sommet s'éloigne de la cathode ; finalement le cône se transforme en un pinceau presque cylindrique, un peu diffus sur les bords, et partant du sommet de la cathode. Ces apparences successives indiquées par la figure 199 avaient été déjà observées par M. Crookes.

Le phénomène reste le même quand on prend successivement comme anode A, A′ ou A″.

La simple observation du cône cathodique suffit pour se convaincre que les rayons cathodiques se propagent rectilignement et se croisent sans s'influencer.

Avec une cathode concave le faisceau cathodique est convergent ; de plus il est creux (A. C. Swinton) ; plus exactement, il présente une forte condensation périphérique, et la fluorescence qu'il produit sur la paroi de l'ampoule se présente comme un anneau. Si la cathode est plane, le faisceau est à peu près cylindrique et la condensation périphérique est à peine visible. Enfin il est divergent, avec condensation centrale, si l'électrode est convexe. On voit ainsi que les rayons cathodiques ont une tendance à se rapprocher de la normale à la surface d'émission. On verra plus loin que l'émission est même tout à fait normale.

Plusieurs hypothèses ont été faites au sujet de la nature de ces rayons. La plupart des physiciens admettent aujourd'hui l'hypothèse balistique imaginée par M. Crookes, et suivant laquelle les rayons cathodiques résulteraient non d'un mouvement vibratoire analogue à la lumière, mais d'une émission de particules matérielles électrisées, véritables projectiles lancés par la cathode avec une vitesse considérable.

§ 2. — Propriétés des rayons cathodiques.

Phénomènes de phosphorescence. — Aucun rayonnement connu n'excite la fluorescence ou la phosphorescence avec autant d'intensité que les rayons cathodiques. Le verre, le verre allemand surtout, émet une belle lumière verte facile à observer dans tous les tubes de Crookes. Le cristal donne une lumière bleue. La craie ordinaire s'illumine vivement en jaune orangé ; le fluorure de calcium en violet. Un grand nombre de corps naturels

ou artificiels exposés au faisceau cathodique deviennent fortement phosphorescents. Quelques-uns sont particulièrement remarquables à ce point de vue : le diamant, le rubis, la blende hexagonale, les sulfures alcalino-terreux.

L'intensité des effets obtenus dépend beaucoup du degré de vide réalisé dans les ampoules cathodiques, ou, mieux, de la résistance électrique de celles-ci, c'est-à-dire de la différence de potentiel nécessaire à leur fonctionnement. De cette différence dépend en effet l'énergie spécifique des rayons.

Propagation rectiligne des rayons cathodiques. — Il est à peine nécessaire de rappeler à ce sujet l'expérience classique et très démonstrative du tube à croix de Crookes (fig. 200). Remarquons seulement que

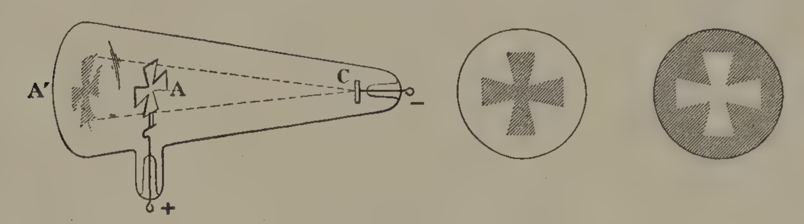


FIGURE 200.

l'extrême netteté de l'ombre A′ montre que la source radiante est sensiblement réduite à un point. Il est facile de voir, d'après la position et la forme de l'ombre, que ce point est le centre de la cathode, comme on pouvait le prévoir d'après ce qui a été dit précédemment.

La seconde partie de l'expérience, consistant à rabattre l'obstacle A pendant que l'appareil est en marche, ce qui fait apparaître en clair la silhouette de la croix absente, s'explique par l'échauffement du verre sous l'action des rayons. Le pouvoir phosphorescent du verre diminue en effet quand sa température s'élève (E. Wiedemann). La région située dans l'ombre de la croix, restant au contraire froide, doit donc apparaître plus brillante quand on supprime cet obstacle : aussi est-il facile d'obtenir avec un tube sans croix des images phosphorescentes en appliquant sur la paroi, pendant quelques instants, une lame métallique convenablement découpée et préalablement chauffée, puis faisant fonctionner le tube après l'avoir retirée (Villard).

On peut avantageusement modifier l'expérience de la croix en remplaçant celle-ci par une plaque métallique percée d'une ou deux ouvertures très petites et prenant comme cathode l'extrémité d'un fil métallique. Sur la paroi anticathodique de l'ampoule on observe alors des taches phosphorescentes très nettes dont la position est exactement celle que fait prévoir la propagation rectiligne.

Effets mécaniques. — M. Crookes a institué une série d'expériences montrant qu'un faisceau cathodique exerce une pression sur les obstacles qu'il rencontre, et met par exemple en mouvement les ailettes d'un moulinet

de radiomètre placé devant la cathode. Si l'axe auquel sont fixées les ailettes est disposé de manière à pouvoir rouler sur des rails en verre placés dans l'ampoule, le moulinet s'éloigne rapidement de la cathode et peut même remonter une pente très appréciable.

Avec un pinceau cathodique très fin et très puissant, l'action produite sur un obstacle fixe, tel qu'une lame de platine, métal très malléable, est suffisante pour désagréger peu à peu la matière au point frappé, et la lame finit par être percée, même à une température inférieure à celle du rouge.

Inversement, une réaction se produit sur la cathode : si celle-ci est constituée par un moulinet métallique dont les ailettes sont recouvertes de mica sur une de leurs faces, l'émission ne se produit que par le côté non protégé du métal, et le moulinet entre en rotation rapide dès que le courant passe.

Effets calorifiques. — Un fragment de platine iridié, placé au point de convergence des rayons émis par une cathode concave, est rapidement porté au rouge blanc. Un morceau de diamant mis à la place du platine peut être ainsi transformé en graphite, ce qui suppose, d'après M. Moissan, que la température réalisée dans cette expérience peut atteindre 3.600°. Mais il ne semble pas qu'il y ait une limite à l'élévation de température que peut produire le choc des rayons cathodiques.

Quelle que soit d'ailleurs la disposition de l'ampoule, il est inévitable que la presque totalité de l'énergie qui y est dépensée apparaisse sous forme de chaleur, et ce dégagement de chaleur fournit précisément une mesure de la puissance électrique utilisée par l'appareil.

Émission de rayons Röntgen. — Tout objet rencontré par les rayons cathodiques devient une source de rayons Röntgen. La puissance de pénétration de ces derniers dépend de la chûte de potentiel dans le tube à

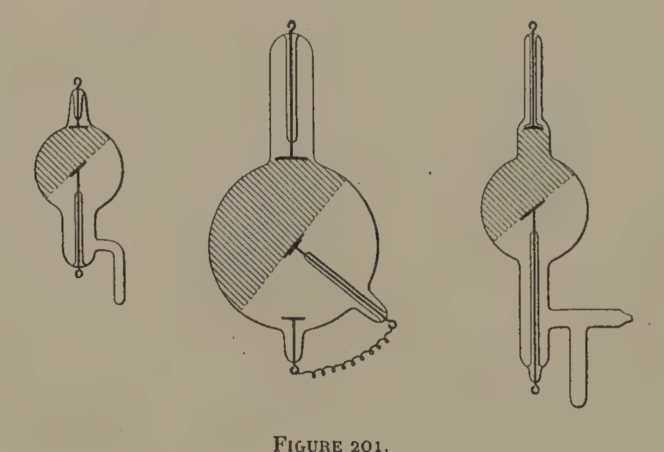


FIGURE 201.

vide (et, par suite, de la raréfaction) et augmente avec celle-ci. L'intensité du rayonnement produit est d'autant plus grande que le poids atomique

(dans le cas d'un corps simple) de l'obstacle est plus considérable (Roiti).

Pour obtenir un foyer de rayons X intense et de faible étendue, il faut par conséquent réunir le plus possible les rayons cathodiques en un faisceau étroit et les recevoir sur un obstacle constitué par une substance à poids atomique élevé ; cet obstacle doit en même temps pouvoir résister à l'élévation de température produite par le bombardement cathodique. Ces conditions sont réalisées dans le tube focus imaginé peu après la découverte de Röntgen, et, duquel dérivent tous les modèles actuels (fig. 201). La cathode est en aluminium, métal qui ne se pulvérise pas sous l'action du courant ; elle est placée dans une partie cylindrique de l'ampoule, d'un diamètre à peine supérieur au sien, de sorte que l'émission cathodique n'a lieu que par une face de l'électrode. Cette cathode est concave, et donne, par suite, comme on l'a vu plus haut, un faisceau cathodique se réduisant à un filet presque cylindrique quand le vide est très avancé. Au-devant de la cathode, à une distance qui, en raison de la forme du faisceau, peut être très supérieure au rayon de courbure de l'électrode, on place l'*anticathode* ; celle-ci est une lame de platine ou mieux de platine iridié (poids atomique, 194) inclinée à 45° environ sur l'axe du faisceau. Les rayons X produits sont émis dans tous les sens au-dessus du plan de la lame, et l'inclinaison de cette dernière permet de les utiliser latéralement sans être gêné par la cathode. L'expérience a montré que le rendement est meilleur si l'anticathode est en même temps anode ou reliée à l'anode. Elle doit donc être fixée à un fil métallique isolé soudé à la paroi de l'ampoule, et permettant de la mettre en communication avec le pôle positif de la source électrique.

Le faisceau cathodique qui frappe l'anticathode présentant toujours une diffusion périphérique très appréciable, l'émission des rayons X n'est pas limitée exclusivement au foyer cathodique : le reste de la lame participe, faiblement il est vrai, à l'émission.

D'autre part, les rayons cathodiques se diffusent en tous sens par le fait de leur rencontre avec l'anticathode et vont frapper le verre de l'ampoule dans toute la région marquée par des hachures sur le dessin. Il résulte de ce phénomène une nouvelle émission de rayons X par la surface de l'ampoule.

Effets chimiques. — M. Goldstein a découvert que certains sels, notamment les haloïdes alcalins, se colorent par l'action des rayons cathodiques. En même temps, leur phosphorescence diminue. Le chlorure de sodium se colore en brun ; le bromure de potassium, en bleu. Ces colorations disparaissent avec le temps, lentement à l'obscurité (plusieurs mois), et rapidement à la lumière du jour, surtout avec l'aide d'une élévation de température.

MM. Wiedemann et Schmidt ont constaté que les sels irradiés présentent une réaction alcaline très nette. Avec le chlorure de sodium, ils ont pu mettre en évidence un faible dégagement de chlore.

Il résulte des recherches de MM. Elster et Geitel que les sels ainsi modifiés possèdent à un haut degré le pouvoir photo-électrique, et, quand on les

expose à la lumière ultra-violette après les avoir chargés d'électricité négative, cette charge disparaît rapidement. Cette propriété s'atténue peu à peu et disparaît en même temps que la coloration. Il semble que cet effet soit dû à la mise en liberté de traces de métal, car les auteurs précédents ont obtenu le même résultat avec un sel électrolysé à l'état fondu. En même temps, le sel prenait autour de la cathode une coloration bleuâtre.

Certains verres acquièrent également le pouvoir photo-électrique quand on les soumet au bombardement cathodique. Ce sont probablement les alcalis du verre qui sont modifiés dans ce cas.

Ces réactions indiquent évidemment une action réductrice. Nous avons en effet observé des réductions très nettes dans les expériences suivantes :

L'ombre cathodique d'un obstacle est formée sur une lame de cuivre oxydée superficiellement ; au bout de quelques instants, cette ombre se détache d'une manière indélébile en noir sur fond rouge : le cuivre a été ramené à l'état métallique sur toute la partie de la lame non protégée par l'obstacle contre le choc des rayons.

Pour éviter l'influence du gaz résiduel, l'expérience a été répétée en remplaçant le cuivre oxydé par du cristal. La réduction du silicate de plomb se fait alors dans la masse, à l'abri du gaz de l'ampoule, et elle réussit aussi bien quand ce gaz est de l'oxygène, dont la présence est à chaque instant facile à reconnaître au spectroscope.

De même, une goutte de cristal déposée sur du verre non plombeux ne tarde pas à se détacher en noir quand le tout est exposé aux rayons cathodiques.

Dans les mêmes conditions, le silicate cuivrique vert est transformé en silicate cuivreux rouge, aisément reconnaissable à son spectre d'absorption.

Un phénomène d'un tout autre ordre se produit quand les rayons cathodiques rencontrent l'air (expériences de M. Lénard). Il se produit alors de l'ozone.

Électrisation des rayons cathodiques. — L'hypothèse ondulatoire et celle de l'émission expliquent également bien les phénomènes précédents ; le mouvement des ailettes d'un radiomètre, par exemple, peut être produit aussi bien par des ondes calorifiques que par un bombardement moléculaire. L'hypothèse balistique se prête mieux, il est vrai, à l'interprétation des phénomènes magnétiques ou électriques dont il sera question plus loin, mais elle n'a été confirmée d'une manière probablement définitive que par la démonstration rigoureuse de l'électrisation des rayons, démonstration faite par M. J. Perrin en 1897.

Un cylindre de Faraday F (fig. 202), relié à un électromètre E, était placé dans une enceinte métallique A ne présentant qu'une très petite ouverture pour l'admission des rayons, et reliée au sol, ainsi que la cage de l'électromètre et le pôle positif de la bobine excitatrice. La cathode était un disque métallique C placé en face de l'ouverture de l'enceinte. Dès que les rayons pénétraient dans le cylindre, l'électromètre accusait une charge

négative pouvant atteindre 30.000 unités CGS par décharge de la bobine.

L'ouverture de l'enceinte protectrice ayant été fermée par une feuille d'aluminium très mince et exempte de trous, il y a eu encore pénétration

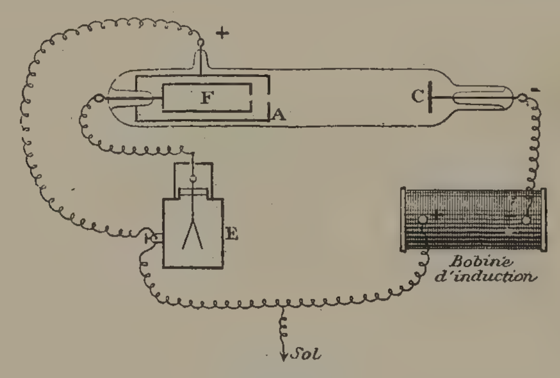


FIGURE 202.

de charges dans le cylindre (100 U. CGS par décharge). Cette dernière expérience montre bien que les rayons cathodiques ne sont pas comme les rayons X des égaliseurs de potentiel. Le cylindre de Faraday serait resté, dans ce cas, au potentiel de l'enceinte, c'est-à-dire zéro.

Ainsi les rayons cathodiques doivent être considérés comme les trajectoires de particules matérielles électrisées négativement.

Déviation électrostatique des rayons cathodiques. — L'élargissement de l'ombre d'un fil relié à la cathode ou au sol a été observé dès le début par M. Goldstein et par M. Crookes. Il résulte de la répulsion exercée, par un objet chargé négativement, sur les particules cathodiques électrisées.

La question n'a été toutefois complètement éclaircie que par les expériences récentes de M. Quirino Majorana et de M. J. Perrin, faites dans une forme à peu près identique. Les expériences de M. J. Perrin paraissent

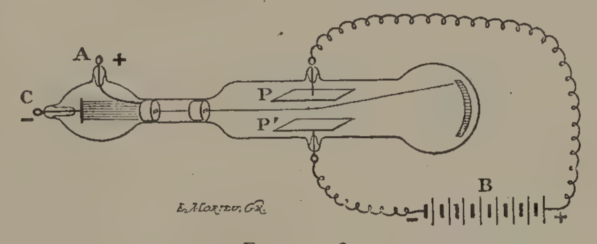


FIGURE 203.

toutefois plus correctes : un faisceau de rayons cathodiques parallèles traverse une anode en toile métallique occupant toute la section du tube et pénètre dans un renflement au milieu duquel est un fil transversal ; l'ombre de ce fil se projette sur la paroi. Une machine statique dont les pôles sont

reliés l'un au fil, l'autre à la toile métallique, permet d'établir autour du fil un champ électrique parfaitement connu. Quand le fil est négatif les deux demi-faisceaux qu'il détermine s'écartent, et l'ombre s'élargit. L'inverse a lieu si le fil est positif. Ces résultats sont tout à fait d'accord avec l'électrisation des rayons.

M. J.-J. Thomson a fait passer un étroit faisceau entre deux plaques métalliques reliées aux pôles d'une batterie d'accumulateurs (fig. 203) ; le faisceau est alors dévié dans un sens facile à prévoir : il se rapproche de la plaque positive. Le phénomène est appréciable même pour une différence de potentiel de 2 volts entre les plaques.

Le calcul de la déviation dans cette expérience est tout à fait analogue à celui de la trajectoire d'un projectile pesant ; l'attraction électrique joue ici le rôle de la pesanteur.

L'action d'un champ électrique a été utilisée par M. J. Perrin pour mesurer la chute de potentiel qui met en mouvement les particules cathodiques. Les rayons traversent une large anode en toile métallique qui les soustrait à l'action de la cathode, et vont rencontrer un peu plus loin un plateau métallique recouvert d'une poudre fluorescente. Au moyen d'une machine statique on établit entre ce plateau et la toile métallique un champ dirigé dans le sens de propagation des rayons, et s'opposant ainsi à leur mouvement, puisque le plateau est alors négatif. Aussitôt la fluorescence de la poudre pâlit, et, pour une valeur convenable du champ antagoniste, elle disparaît complètement. La mesure de ce champ donne la valeur de la chute de potentiel motrice. Dans les expériences en question cette valeur était de 40.000 volts environ.

Absence d'action réciproque entre deux rayons. — M. Crookes avait observé que les faisceaux cathodiques lancés par deux cathodes voisines se repoussent. Le but de cette expérience était de mettre en évidence l'électrisation des rayons. La répulsion n'était toutefois qu'apparente. MM. Wiedemann et Ebert ont en effet reconnu que si l'un des faisceaux est arrêté par un volet placé devant la cathode correspondante, l'autre n'est pas moins dévié pour cela. La déviation observée résultait donc de l'action électrostatique produite par deux cathodes voisines. Si en effet on dispose les cathodes, comme l'a fait M. Bernstein, aux extrémités opposées du tube, les faisceaux lancés parallèlement restent parallèles sur tout leur trajet, bien qu'aussi voisins l'un de l'autre que dans l'expérience de M. Crookes.

Dans l'une des expériences que nous avons faites à ce sujet, deux faisceaux bien définis étaient obtenus au moyen d'un diaphragme présentant deux fentes très voisines et placé à 30 centimètres d'une cathode. Après avoir traversé les fentes, les rayons se propageaient dans une cage de Faraday en toile métallique, à l'abri par conséquent de toute action électrique perturbatrice, et marquaient leur trace sur une lame fluorescente. Dans ces conditions aucune déviation ne s'est produite.

L'absence d'action réciproque n'est pas en contradiction avec le fait que

les rayons sont électrisés. Étant donnée l'énorme vitesse des particules cathodiques dont les rayons sont les trajectoires, il y a les plus grandes chances pour qu'elles soient en général séparées les unes des autres par des distances très supérieures à leur rayon d'action sensible.

Electrisation des tubes à décharges. — Le fait que les rayons cathodiques se propagent rectilignement dans les ampoules de Crookes, dans le tube à croix par exemple, indique que, même vers l'anode, le champ électrique est assez faible pour n'exercer aucune action sensible sur les rayons. Les expériences suivantes établissent en effet que le champ est très intense près de la cathode, presque nul partout ailleurs.

Une électrode auxiliaire, en forme d'anneau par exemple, étant placée à quelques millimètres en avant de la cathode, dès que la résistance du tube équivaut à quelques centimètres d'étincelle, on constate que cette électrode est presque au même potentiel que l'anode ; la différence ne correspond qu'à quelques millimètres d'étincelle, et la presque totalité de l'étincelle équivalente s'obtient entre cette électrode et la cathode (1). Une preuve d'un autre genre est fournie par l'observation suivante : si un tube à électrodes symétriques présente des stries longitudinales, c'est-à-dire des bulles étirées, ces stries s'illuminent vivement près de la cathode et non vers l'anode ; ceci prouve que le champ variable produit par le courant intermittent de la bobine n'acquiert une valeur notable qu'au voisinage immédiat de la cathode.

Il résulte de cette électrisation que presque toute l'ampoule est sensiblement au même potentiel que l'anode. Par suite une électrode auxiliaire reliée à un conducteur extérieur ou au sol sera chargée négativement partout, excepté près de la cathode ; son potentiel, qui est celui du conducteur extérieur ou du sol, est en effet inférieur, en général, à celui de l'ampoule. Cette électrode se comportera donc comme une cathode, surtout si on la relie au sol. Elle émettra des rayons et repoussera ceux qui passeront près d'elle. De là l'élargissement de l'ombre cathodique d'un fil métallique mis à la terre.

Il suffit d'ailleurs de toucher avec le doigt une ampoule de Crookes en activité pour obtenir une faible émission par le point touché (Domalip), le doigt formant électrode extérieure, et pour repousser un faisceau cathodique passant à proximité.

La distribution électrique sur les parois intérieures des ampoules se fait donc de telle sorte qu'elle tende à annuler le champ, c'est-à-dire comme sur un conducteur. Autrement dit les parois font écran électrique.

Déviation magnétique des rayons cathodiques. — Un aimant placé auprès d'un tube de Crookes en activité dévie les rayons et déplace par suite la plage fluorescente qu'ils déterminent sur le verre. Le dispositif classique de M. Crookes (fig. 204) permet de constater que les trajectoires se

(1) C'est pour cette raison qu'on est obligé de donner une assez grande longueur au tube porte-cathode.

courbent dans le champ magnétique, et qu'après avoir franchi ce champ elles ne reprennent pas leur direction primitive. Cette déviation est accompagnée d'une déformation de l'espace obscur, aisée à observer avec l'appareil représenté figure 199.

Toutes choses égales d'ailleurs, la déviation diminue en même temps que

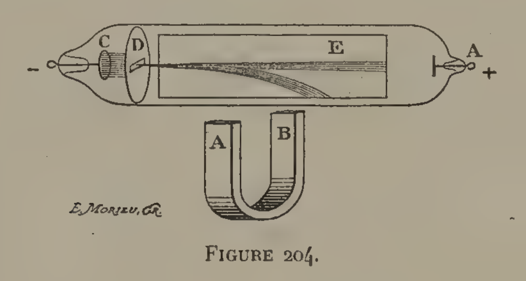


Figure 204.

la pression dans l'ampoule, c'est-à-dire en même temps qu'augmente la différence de potentiel aux électrodes. M. Crookes fait à ce sujet une comparaison très juste avec la tension plus ou moins grande de la trajectoire d'un projectile lancé par une arme à feu plus ou moins chargée.

Le sens de la déviation est celui qu'on prévoit pour la trajectoire d'une particule électrisée négativement, une charge en mouvement étant équivalente à un courant. Suivant les lois connues, la force exercée sur la particule est perpendiculaire à la fois au champ magnétique et à la direction du mouvement. Si donc le rayon arrive dans un champ uniforme perpendiculairement aux lignes de force, il doit se recourber suivant une circonférence. S'il est oblique, il s'enroulera suivant une hélice.

Le sens de la rotation est celui des aiguilles d'une montre pour un observateur dont le regard est dirigé dans le sens du champ. Le mémoire de M. Hittorff contient des figures fort intéressantes, montrant un faisceau cathodique suivant une trajectoire circulaire fermée sur elle-même, ou hélicoïdale, dans un champ magnétique large et intense.

Sans entrer dans le détail des calculs relatifs à cette déviation, indiquons cependant de quelle manière peut être abordé le problème.

La particule électrisée en mouvement est assimilée à un courant qui transporte la même quantité d'électricité par unité de temps. On fait donc intervenir, outre la valeur H du champ, la vitesse V de la particule et le rapport $\frac{e}{m}$ de la charge électrique à la masse pondérale qui la transporte.

Il n'est pas nécessaire de connaître séparément e et m, leur rapport suffit. En effet, à une masse double, triple, etc., correspond une charge double, triple, etc. et, par suite, une action deux, trois, etc., fois plus grande de la part du champ. La force reste proportionnelle à la masse, et l'accélération reste la même. De même pour calculer la trajectoire d'un projectile soumis à l'action de la pesanteur, il suffit de connaître sa vitesse et sa direction par rapport à celle de la pesanteur ; des projectiles de masses différentes suivront

évidemment la même trajectoire s'ils sont lancés dans les mêmes conditions.

On comprend qu'un tel calcul n'ait présenté pour M. J.-J. Thomson aucune difficulté. Le résultat auquel ce physicien est arrivé est le suivant : Si le rayon est dirigé normalement aux lignes de force d'un champ uniforme, le rayon de la circonférence en laquelle il se transforme est :

$$R = \frac{mV}{He}.$$

Si le rayon est oblique, il s'enroule en hélice sur un cylindre de rayon :

$$r = \frac{mV}{He} \sin \alpha,$$

α étant l'angle du rayon incident et de la direction du champ. Dans le cas précédent, cet angle était égal à 90°.

Concentration des rayons par un champ magnétique. — M. Birkeland a observé que le faisceau cathodique émis par une cathode

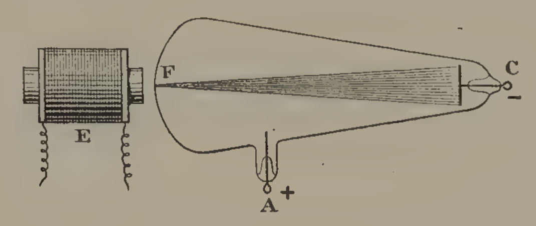


FIGURE 205.

plane devient convergent quand on place un électro-aimant droit dans le prolongement de l'axe du tube (fig. 205). M. Poincaré a traité ce problème par le calcul dans l'hypothèse balistique et a trouvé qu'un rayon émis par

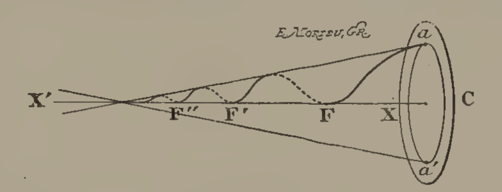


FIGURE 206.

un point a de la cathode (fig. 206) s'enroule suivant une ligne géodésique, une sorte de spirale, sur un cône dont l'une des génératrices passe par le point a, l'autre étant l'axe XX' de l'aimant et du tube. A chaque tour la spirale rencontre une fois cet axe, aux points F, F', F'' ; tous les rayons émis par la circonférence aa' se comporteront de même (1), et formeront une série de foyers

(1) On a vu que l'émission se fait principalement par un anneau ayant même centre que la cathode.

au points F,F′,F″; l'ensemble du faisceau sera d'ailleurs compris dans le cône enveloppe des cônes relatifs aux divers rayons et sera par suite convergent.

L'enroulement d'un rayon cathodique en spirale convergente avait déjà été observé par M. Hittorff. Dans des expériences récentes, MM. Wiedemann et Wehnelt ont reconnu que, dans les conditions qui viennent d'être indi-

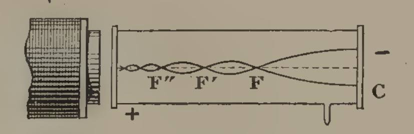


FIGURE 207.

quées, le faisceau cathodique présente en effet une série de foyers séparés par des ventres d'amplitude décroissante (fig. 207), conformément aux prévisions de M. Poincaré.

§ 3. — Vitesse des rayons cathodiques.

Méthodes indirectes de M. J.-J. Thomson. — On a vu que le rayon de la circonférence décrite par une particule cathodique dans un champ uniforme H est :

$$R = \frac{mV}{He}, \tag{1}$$

V désignant la vitesse, $\frac{m}{e}$ le rapport de la masse du projectile à sa charge. Soit N le nombre de particules reçues dans un cylindre de Faraday ; la charge totale, indiquée par l'électromètre est :

$$Q = Ne; \tag{2}$$

la force vive :

$$W = \frac{1}{2} NmV^2, \tag{3}$$

est déterminée par l'échauffement d'un couple thermo-électrique placé dans le cylindre de Faraday.

On ne connaît ni N, ni m et e, mais si on divise membre à membre les équations (2) et (3), il vient :

$$\frac{W}{Q} = \frac{1}{2} \frac{mV^2}{e}. \tag{4}$$

Les équations (1) et (4) ne contiennent comme inconnues que V et le rapport $\frac{m}{e}$. Il suffit de les résoudre pour obtenir :

$$V = \frac{2W}{QHR} \text{ et } \frac{m}{e} = \frac{H^2R^2Q}{2W}.$$

La seconde méthode, dans le détail de laquelle nous ne saurions entrer, consistait à mesurer la déviation magnétique, puis électrostatique, d'un même rayon. D'autre part, on peut exprimer par le calcul ces déviations en fonction de V et de $\frac{m}{e}$. On a ainsi deux équations renfermant les données de l'expériences (valeur des champs, angle de déviation du rayon, etc.) et les deux inconnues en question.

Ces deux méthodes ont donné pour V et $\frac{m}{e}$ des résultats peu différents ; soit :

pour $\frac{m}{e}$, des valeurs comprises entre :

$$0{,}91 \times 10^{-7} \text{ et } 0{,}67 \times 10^{-7},$$

indépendantes de la nature du gaz, et pour V des valeurs variant de :

$$2{,}2 \times 10^9 \text{ à } 3{,}6 \times 10^9 \frac{\text{centimètres}}{\text{seconde}}$$

par seconde, soit en moyenne 29.000 kilomètres par seconde.

Méthode de M. Wiechert. — Un faisceau étroit est soumis à un champ magnétique alternatif produit par une bobine plate posée contre la paroi du tube et traversée par la décharge oscillante d'un condensateur. Le faisceau oscille (en apparence) à la manière d'un pendule. Au moyen d'un aimant permanent on le dévie, de telle sorte qu'il passe par l'ouverture d'un diaphragme au moment où il est à l'une de ses positions extrêmes, c'est-à-dire quand le champ produit par la bobine est maximum.

Une seconde bobine semblable à la première et en dérivation sur elle est placée sur le tube après le diaphragme. Les projectiles cathodiques n'arrivent donc dans le champ de cette bobine qu'un certain temps après avoir passé devant l'autre. Si ce temps est égal à un quart de période de la décharge oscillante, le champ magnétique est maintenant nul, et la seconde bobine ne dévie pas les projectiles cathodiques. De même pour un temps égal à $\frac{3}{4}$, ou $\frac{5}{4}$ de période, etc. En faisant glisser la seconde bobine le long du tube on doit donc trouver une série de positions pour lesquelles elle est sans action ; l'intervalle de deux positions représente le trajet parcouru par les projectiles pendant $\frac{3}{4} - \frac{1}{4}$ de période, soit une demi-période. Connaissant la valeur de celle-ci, on a immédiatement la vitesse cherchée. M. Wiechert a ainsi trouvé pour V des valeurs comprises entre :

$$5{,}04 \times 10^9 \frac{\text{cm}}{\text{sec}} \text{ et } 3{,}96 \times 10^9 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}.$$

Ainsi la vitesse des rayons cathodiques varie de 22.000 à 50.000 kilomètres par seconde. Elle est mille fois plus grande que celles des planètes voisines du soleil ($29^{\text{kil}},6$ pour la terre) et comparable à celle de la lumière.

§ 4. — Unité de la matière radiante.

Il résulte des recherches de M. J.-J. Thomson que la valeur de $\frac{e}{m}$ est environ mille fois plus grande que l'équivalent électrochimique le plus élevé que nous connaissions : 1 gramme de matière cathodique transporterait en effet 100 millions de coulombs, tandis que 1 gramme d'hydrogène électrolytique n'en transporte pas 100.000. Ce résultat singulier ne saurait cependant être mis en doute ; il a été retrouvé par un certain nombre de physiciens pour les rayons cathodiques, et par M. J.-J. Thomson pour la convection photo-électrique.

D'autre part, ce rapport est indépendant de la nature du gaz dans lequel on fait l'expérience, c'est une constante physique. Une conséquence importante en résulte immédiatement : la déviation magnétique ou électrique, liée comme nous l'avons vu à $\frac{e}{m}$ et V, ne dépend que de V, puisque $\frac{e}{m}$ est constant. Comme, d'autre part, elle ne dépend que de la différence de potentiel de la décharge (M. Kaufmann), on voit que *la vitesse des rayons cathodiques est uniquement fonction de la différence de potentiel qui les produit.*

L'hypothèse balistique se présente maintenant sous une forme très simple : les projectiles cathodiques sont toujours formés par la même matière, caractérisée physiquement par le rapport $\frac{e}{m}$, et la décharge électrique les met en mouvement avec une vitesse qui dépend seulement du potentiel explosif.

Les propriétés des rayons cathodiques sont par suite les mêmes, quel que soit le gaz contenu dans l'ampoule où on les observe.

Nous sommes ainsi ramenés à cette observation très juste de M. Crookes : « Que le gaz primitivement soumis à l'expérience soit l'hydrogène, l'acide carbonique, ou l'air atmosphérique, les phénomènes de phosphorescence, d'ombre, de déviation magnétique, etc., sont identiques. »

§ 5. — Dispersion magnétique et électrique.

M. Birkeland a montré qu'un faisceau cathodique produit par la décharge d'une bobine d'induction est décomposé par un champ magnétique en plusieurs faisceaux distincts inégalement déviés. L'expérience réalisée avec un faisceau défini par une fente étroite et un champ parallèle à cette fente donne sur un écran fluorescent une image semblable comme forme à un spectre lumineux discontinu, c'est un spectre cathodique. Le nombre des raies est d'ailleurs variable avec les conditions de l'expérience.

Si on prend comme source électrique une batterie d'accumulateurs, le

phénomène ne se produit plus, le faisceau dévié reste unique (R.-J. Strutt).

Si on remplace le champ magnétique par un champ électrostatique (les lignes de force doivent être alors perpendiculaires à la fente), on obtient également un spectre, c'est l'expérience de M. H. Deslandres.

M. J.-J. Thomson a reconnu que la dispersion par un champ électrostatique donne les mêmes résultats que la dispersion magnétique.

Reportons-nous aux formules indiquées précédemment : le rapport $\frac{e}{m}$ est constant ; la vitesse V ne dépend que du potentiel de décharge, et la déviation magnétique ne dépend elle-même que de cette vitesse. Les faisceaux simples, inégalement déviés, en lesquels se décompose le faisceau primitif dans les expériences de M. Birkeland et de M. Deslandres, ont donc des vitesses différentes et correspondent par suite à des potentiels de décharge distincts. Ces expériences nous apprennent ainsi que le faisceau cathodique produit par la décharge d'une bobine est complexe ; il y a plusieurs émissions distinctes, se faisant sous des différences de potentiel différentes.

Comme le fait justement remarquer M. Goldstein, ces émissions ne peuvent être que successives, la cathode ne pouvant être à la fois à plusieurs potentiels. Cette opinion est également celle de M. Von Geitler.

Nous avons vérifié qu'il en est bien ainsi. La méthode consistait à recevoir dans un champ magnétique tournant (42 tours par seconde) un pinceau cathodique très fin. La tache fluorescente circulaire que ce pinceau produisait sur le verre de l'ampoule était déviée quand le champ était mis en activité, et en même temps elle se déformait.

Pour rendre les observations plus faciles, l'interrupteur de la bobine était rendu synchrone du champ. Il se produisait ainsi une décharge par tour, et pour une orientation toujours identique du champ. La tache fluorescente déviée apparaissait par suite dans une position invariable. Cette tache était très sensiblement allongée dans le sens de rotation du champ, indiquant par là que la décharge avait une durée mesurable. D'autre part, sa forme montrait nettement que du commencement à la fin de l'émission, la déviation magnétique allait d'abord en diminuant puis en augmentant. Les rayons inégalement déviés sont donc émis successivement ; les expériences de M. Birkeland et de M. Deslandres montrent de plus qu'ils sont émis par groupes distincts. Il y a donc une série d'émissions successives séparées, se produisant sous des potentiels différents.

Le dispositif à champ tournant a permis également de constater que l'émission cathodique alimentée par une machine statique est toujours discontinue. Toutes choses égales d'ailleurs, la fréquence augmente avec l'étendue de l'anode. Elle peut atteindre plusieurs milliers d'émissions par seconde.

§ 6. — Expériences de M. Lénard. Phénomènes secondaires

Expériences de M. Lénard. — M. Lénard s'est proposé d'étudier les rayons cathodiques en dehors de l'ampoule productrice ; celle-ci, placée à l'intérieur d'une enceinte métallique, était munie d'une petite fenêtre en aluminium de $0^{mm},03$ d'épaisseur fixée dans une monture métallique, qui terminait l'ampoule et s'adaptait en même temps à la paroi de l'enceinte métallique. Les rayons cathodiques frappaient intérieurement cette fenêtre et, traversant l'aluminium, sortaient de l'appareil sous la forme d'une houppe diffuse, facile à reconnaître avec un petit écran fluorescent, et s'étendant à quelques centimètres de la fenêtre. Si on essayait d'isoler dans cette houppe un faisceau défini, celui-ci se diffusait également très vite. Les choses se passaient tout autrement en recevant les rayons non plus dans l'air ordinaire, mais dans un second tube rempli d'air raréfié. La diffusion devient alors beaucoup moindre, elle est presque nulle à la pression de 1 centimètre, et un faisceau limité par un diaphragme se propage alors rectilignement sur une longueur de 1 mètre. Avec l'hydrogène ce résultat est déjà atteint à la pression de 18 centimètres. Le pouvoir diffusant dépend uniquement de la densité du milieu gazeux. De même le pouvoir absorbant des obstacles solides, lames minces de métal ou de verre, dépend non de leur nature, mais de la masse traversée.

Les mesures relatives à la déviation magnétique ou électrique ont conduit à ce résultat que $\frac{e}{m}$ est, pour ces rayons, le même que pour les rayons cathodiques, et que la vitesse est tout à fait de même ordre.

Cette vitesse semble n'être pas influencée par la présence d'un gaz. La déviation magnétique observée dans l'air raréfié ou l'hydrogène est indépendante de la pression de ce gaz ; elle dépend au contraire de la chute de potentiel dans le tube producteur. Le milieu gazeux agirait donc sur les projectiles cathodiques en les diffusant, mais sans réduire leur vitesse.

M. Lénard a reconnu que les rayons cathodiques rendent l'air conducteur de l'électricité ; ils provoquent la décharge d'un électroscope, c'est-à-dire égalisent les potentiels de deux conducteurs chargés. Ces rayons déterminent également la condensation des vapeurs sursaturées, et il se forme un brouillard quand ils rencontrent de l'air humide.

Ces singulières propriétés persistent pendant plusieurs minutes dans l'air modifié par les rayons.

Enfin, les rayons cathodiques de M. Lénard ozonisent l'air qu'ils traversent.

Diffusion des rayons cathodiques. — Un faisceau de rayons cathodiques se diffuse et s'éparpille en tous sens quand il rencontre un obstacle solide, la lame de platine des tubes à rayons X par exemple. Ce phénomène se manifeste par la fluorescence hémisphérique des ampoules.

Les rayons diffusés ont les mêmes propriétés que les rayons directs. En particulier ils se diffusent à nouveau, comme eux, quand on les reçoit sur une lame métallique. Ils produisent également des rayons X.

Émissions secondaires. — M. Goldstein a reconnu que, si un tube de Crookes présente des étranglements, des coudes, ceux-ci émettent des rayons cathodiques du côté de l'anode. Une cloison en papier perforé étant placée entre l'anode et la cathode, chaque trou devient aussi un centre d'émission.

M. Wiedemann a signalé également l'émission de rayons par la paroi anticathodique d'un tube de Crookes. Ce phénomène, assez facile à observer avec des tubes peu résistants, s'explique par l'apport de charges négatives convoyées par le faisceau principal.

Une lame métallique isolée, frappée par un faisceau cathodique, émet également des rayons par la région frappée et par celle-là seulement. Ce nouveau faisceau, bien distinct des rayons de diffusion, est très net : il est toujours normal à la lame ou formé de rayons normaux à celle-ci lorsqu'elle est courbe (Villard).

Passage des rayons au travers de lames minces. — Hertz a découvert qu'une lame métallique très mince laisse passer les rayons cathodiques. D'après M. Lénard, le verre est également traversé sous une épaisseur de $0^{mm},2$. Comme nous l'avons dit plus haut, ce physicien a démontré que la transparence des corps pour les rayons cathodiques ne dépend que de la masse traversée, c'est-à-dire de l'épaisseur et de la densité. De l'air comprimé jusqu'à atteindre la densité de l'aluminium par exemple aurait, à épaisseur égale, le même pouvoir absorbant que ce métal.

Nous avons vu que cette propriété des lames minces a été utilisée par M. Perrin et par M. Lénard.

Suivant M. J.-J. Thomson, il n'y aurait pas transmission réelle, mais plutôt émission secondaire. C'est exact au moins pour la majeure partie du rayonnement transmis, car le faisceau émergent, d'ailleurs très diffus, au lieu de prolonger le faisceau incident, est dans son ensemble dirigé normalement à la lame traversée.

Surfaces interférentielles de M. Jaumann. — Deux cathodes en forme de cylindre sont placées parallèlement dans une cloche où le vide est fait à 1 millimètre environ. Il n'y a pas d'anode. Ces deux cathodes sont réunies extérieurement par un fil de plusieurs mètres de longueur le long duquel peut glisser un contact relié à un oscillateur de Hertz en activité. Si le contact est au milieu du fil, on observe entre les cathodes une zone luminescente plane équidistante de l'une et de l'autre. Si on déplace le contact, les potentiels aux deux cathodes ne sont plus en phase ; par suite, ils cessent d'être à chaque instant égaux ; la surface lumineuse se rapproche d'une des cathodes et prend la forme d'un cylindre hyperbolique. M. Jaumann, partisan de l'hypothèse ondulatoire, considère ce phénomène comme résultant de l'interférence des ondes cathodiques.

Kanalstrahlen. — Si un tube est divisé en deux parties par une cathode percée de quelques ouvertures (fig. 208), on observe dans la partie CB, située du côté opposé à l'anode, des faisceaux semblables aux faisceaux cathodiques et qui partent des ouvertures pratiquées dans la cathode. Ces nouveaux rayons, découverts par M. Goldstein et désignés par lui sous le nom de *kanalstrahlen*, ne se forment que sur la partie de la cathode qui, par l'autre face, émet des rayons cathodiques. Ils ne sont pas déviés d'une

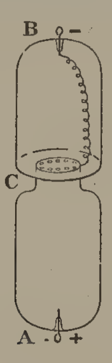


FIGURE 208.

manière appréciable par le champ électrique ou magnétique. Ils ne provoquent pas la fluorescence du verre, mais déterminent sur celui-ci une émission de lumière jaune (lumière du sodium) comme le ferait une flamme.

§ 7. — Rayons cathodiques non déviables.

M. J.-J. Thomson a découvert qu'une partie seulement des rayons cathodiques est sensible à l'aimant. Ce fait est facile à vérifier avec un tube à cathode plane, ou mieux concave, dans lequel la pression est telle que le faisceau cathodique ne parte que de la région centrale de l'électrode, mais soit cependant bien visible. Il suffit d'approcher un aimant pour constater qu'une partie du faisceau est absolument insensible à son action et reste rectiligne.

Ces rayons non déviables forment un faisceau semblable d'aspect à celui des rayons cathodiques et partent de la même région de la cathode. Ils illuminent sur leur trajet le gaz résiduel de l'ampoule, mais sont sans action sur les substances phosphorescentes.

§ 8. — Évaporation électrique.

Certains métaux employés comme cathode dans un tube de Crookes ou de Geissler sont pulvérisés par le courant et forment sur les parois un dépôt miroitant. M. Crookes a montré que ce phénomène, auquel il a donné le nom d'évaporation électrique, est entièrement distinct de l'émission cathodique.

Les métaux qui se pulvérisent le plus aisément sont le plomb, l'or, l'argent, le platine et en général les métaux à poids atomique élevé. L'aluminium et le magnésium ne subissent pas au contraire l'évaporation électrique ; mais cette exception n'est pas absolue : nous avons reconnu que dans l'argon pur l'aluminium est pulvérisé par la décharge avec une rapidité extraordinaire, et qu'il l'est encore très sensiblement dans l'oxygène pur.

L'évaporation électrique d'un métal n'a lieu que si ce métal est cathode, c'est-à-dire : 1° quand il constitue la cathode de l'appareil ; 2° s'il est pris comme anode et que le courant inverse de la bobine passe ou que la décharge soit oscillante ; 3° s'il est isolé et frappé par les rayons cathodiques.

§ 9. — Formation des rayons cathodiques.

L'afflux cathodique. — La résistance électrique d'un tube de Crookes ne dépend que de la section du faisceau cathodique à son origine ; toute cause qui modifie cette section (changement de diamètre, introduction d'un diaphragme devant la cathode, modification de la distance des électrodes, variation de pression) modifie la résistance, et réciproquement.

D'autre part, la région d'émission cathodique occupe sur la cathode une position qui dépend visiblement de la forme de l'ampoule. Quand celle-ci est de révolution, la région dont il s'agit a son centre sur l'axe de l'appareil. Elle conserve cette position quand on décentre un peu la cathode ; elle se déplace au contraire, et cesse en même temps d'être circulaire si, en avant de la cathode, on produit une dissymétrie quelconque dans la forme du tube (ampoule latérale par exemple) ou dans la disposition des objets qu'il contient. La région radiante constitue ainsi une sorte d'image du tube de Crookes. Ces phénomènes s'observent aisément soit avec l'aide de la photographie, soit directement en se servant d'une cathode en magnésium, métal qui s'illumine en vert aux points d'où partent les rayons cathodiques.

Si un diaphragme est placé devant la cathode, dans l'espace obscur de Hittorff, les rayons cathodiques se forment presque uniquement en face du centre de l'ouverture du diaphragme et la section du faisceau est, à une pression donnée, sensiblement proportionnelle à cette ouverture. Si on pouvait faire varier facilement celle-ci, au moyen d'un diaphragme iris, on réduirait à volonté la région d'émission et on ferait ainsi varier la résistance de l'ampoule dans des limites très étendues.

Cette influence des parois ou des bords d'un diaphragme est d'ordre électrique. Si en effet on place à 10 millimètres environ devant la cathode une électrode annulaire ou un diaphragme à large ouverture, le diamètre du faisceau cathodique augmente ou diminue suivant qu'on abaisse ou élève le potentiel de cette électrode. La résistance varie naturellement en même temps. Il est donc évident qu'un courant de particules matérielles électrisées, provenant de l'espace obscur, et repoussé par la charge positive des

parois ou les bords d'un diaphragme, se dirige vers la cathode et alimente l'émission cathodique.

Cet *afflux cathodique* crée dans l'ampoule une circulation de matière qui sert de véhicule à l'électricité et fournit les projectiles cathodiques. L'émission est par suite prépondérante aux points où cet afflux arrive plus abondamment, c'est-à-dire sur une région centrale d'autant plus restreinte que le tube est de plus faible diamètre et que l'électrisation des parois, variable avec la pression, est plus forte. La forme et la position de cette région doivent donc dépendre de la disposition des parois beaucoup plus que de celle de la cathode, ce qui est conforme à l'observation.

Du débit de cet afflux dépend le nombre des rayons émis dans un temps donné et l'intensité du courant qui traverse le tube. La différence de potentiel aux électrodes sera ainsi d'autant plus grande que la section du courant d'afflux et du faisceau cathodique sera plus réduite (1) ; nous sommes ainsi ramenés au phénomène signalé au début de ce paragraphe.

Diverses expériences permettent de constater l'existence de l'afflux cathodique.

Dans un large tube (fig. 209) muni d'une cathode plane C, disposons un diaphragme D muni de deux ouvertures O,O′ et une électrode à coulisse E. L'appareil étant mis en activité, si la pression est telle que le diaphragme soit compris dans l'espace obscur, deux points radiants très visibles se forment en a,a', en face des centres des trous O,O′ ; deux faisceaux cathodiques très fins af, $a'f'$, partent de ces points, tandis que le reste de la cathode,

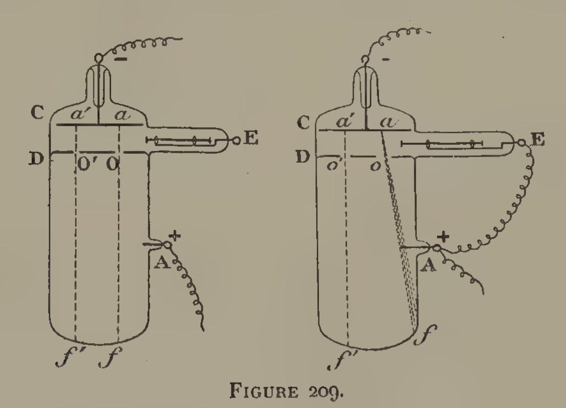


FIGURE 209.

alimenté seulement par l'espace CD, n'émet presque rien. Le faisceau ordinaire central a disparu, remplacé par les deux précédents.

Si on approche alors l'électrode E, et qu'on la relie en même temps à l'anode, on constate qu'elle repousse fortement le point radiant a, tandis

(1) L'élévation de la différence de potentiel tient uniquement au fait que les sources employées (bobine ou machine statique), ne sont pas à potentiel constant ; elles sont comparables à une pile très résistante ; la différence du potentiel aux bornes varie en raison inverse du débit.

qu'elle attire le faisceau correspondant et le dévie fortement. L'inverse a lieu si on charge négativement E. On peut également faire avancer l'électrode E jusqu'au-dessus de l'ouverture O. Le courant d'afflux se partage alors et donne sur la cathode deux points radiants qui s'écartent ou se rapprochent suivant que l'électrode est chargée positivement ou négativement.

Si on construit un tube dans lequel la partie centrale de la cathode est remplacée par une lame de verre, la distribution des potentiels sur les parois reste la même qu'avec une cathode entièrement métallique; l'afflux doit encore se diriger vers sa partie centrale, et on constate en effet que le faisceau cathodique part du centre de la lame de verre, bien que cette substance ne conduise pas l'électricité.

L'arrivée de l'afflux à la cathode doit nécessairement se traduire par un dégagement de chaleur. Cette conséquence est facile à vérifier en prenant comme cathode une lame mince de platine ; la région radiante est rapidement portée au rouge. Si on prend comme cathode un filament de lampe à incandescence celui-ci est facilement porté au blanc (1). Ainsi dans un tube de Crookes, il y a dégagement de chaleur aux points frappés soit par les rayons cathodiques, soit par l'afflux. L'anode ne s'échauffe pas d'une façon appréciable (sauf, bien entendu, le cas où elle est anticathode).

Supposons maintenant que la cathode soit percée de plusieurs petites ouvertures ; toutes celles qui seront situées dans la partie active de l'électrode seront traversées par l'afflux, qui continuera sa route au delà en vertu de la vitesse acquise, illuminant le gaz résiduel et échauffant les obstacles qu'il rencontre. On retrouve ainsi les Kanalstrahlen de M. Goldstein. Si on dévie l'afflux au moyen d'une électrode auxiliaire placée devant la cathode, les Kanalstrahlen subissent une déviation correspondante. Mais en traversant la cathode, l'afflux a perdu sa charge ; il cesse alors d'être déviable, et si on le reçoit dans un cylindre de Faraday parfaitement protégé, il ne lui communique aucune charge.

Émission cathodique. — Les particularités de l'émission cathodique s'expliquent maintenant sans difficulté. Si, par exemple, la cathode est concave, l'afflux repoussé par les parois et attiré par la partie saillante de l'électrode, c'est-à-dire par les bords, arrive sur celle-ci suivant un anneau, et le cône cathodique est par suite creux, ou du moins présente une forte condensation périphérique. Si on abaisse la pression, l'électrisation des parois augmente, la répulsion exercée sur l'afflux devient plus forte, et l'anneau se

(1) La gaîne négative, et par suite les rayons cathodiques, existant à toutes les pressions, c'est à la même cause qu'il faut attribuer l'élévation de température de la cathode dans les tubes de Geissler ou dans un excitateur à étincelles. Ce dernier phénomène, observé pour la première fois par Masson, permet de reconnaître à coup sûr le pôle négatif d'une bobine de Ruhmkorff. Il suffit de faire jaillir les étincelles entre deux fils de platine fins, le fil négatif seul rougit, pourvu que la distance explosive soit telle que le courant inverse ne passe pas.

resserre de plus en plus, jusqu'à n'être plus qu'un point. Le nombre des rayons cathodiques devenant moindre, leur énergie spécifique augmente, c'est-à-dire leur vitesse et avec celle-ci le pouvoir pénétrant des rayons X qu'ils produisent. On peut évidemment obtenir le même résultat sans faire varier la pression : il suffit de réduire le débit de l'afflux soit par un diaphragme qu'on amène devant la cathode, soit en accroissant l'électrisation des parois au moyen d'une électrode annulaire qu'on relie à l'anode, ou simplement en rapprochant l'anode de la cathode. L'intercalation d'une étincelle dans le circuit produit aussi un effet analogue observé par M. Ferrini : au moment où l'étincelle éclate, le potentiel de l'électrode située du même côté varie brusquement, et la vitesse des rayons cathodiques émis à cet instant est par suite plus grande que dans le fonctionnement normal de l'ampoule.

Considérons maintenant un rayon émis par un point a d'une cathode concave (fig. 210). Émis normalement, dans la direction aC, il coupe de plus en plus obliquement les surfaces équipotentielles successives, comme le

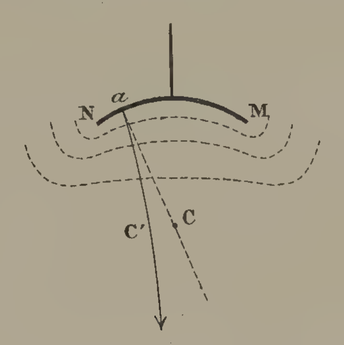


FIGURE 210.

montre la figure. Le projectile cathodique est ici dans les mêmes conditions qu'un mobile pesant lancé de haut en bas obliquement et dont la trajectoire parabolique tend à se rapprocher de la verticale. Le rayon cathodique se rapprochera de même de la direction normale aux surfaces équipotentielles et sera par suite courbé suivant aC′. On peut également dire qu'il sera repoussé par la partie aM de la cathode plus fortement que par aN. Le même phénomène se produisant pour tous les rayons de l'anneau d'émission, le cône qu'ils forment aura ses génératrices courbes, et son sommet sera plus éloigné de la cathode que le centre de courbure C de celle-ci.

Les trajectoires ne sont d'ailleurs courbes que très près de la cathode ; à partir d'une distance de 1 ou 2 centimètres, suivant les dimensions du tube, le potentiel devient presque uniforme, et les rayons sont rectilignes.

Le rôle des surfaces équipotentielles est facile à mettre en évidence avec une cathode plane en forme de rectangle très allongé. La courbure des surfaces en question est presque nulle dans le sens de la plus grande dimension du rectangle, très forte au contraire dans le sens de la plus petite. Le

faisceau cathodique s'étale par suite en éventail dans le sens de la plus petite dimension de la cathode.

Discontinuité de l'émission cathodique. — Les expériences décrites p. 332, § 5, permettent de constater que dans une ampoule de Crookes la décharge est discontinue, intermittente, mais de sens constant, aussi bien avec une bobine d'induction ou une machine statique qu'en prenant comme source une batterie de Leyde préalablement chargée, qui suffit à entretenir l'émission pendant vingt ou trente secondes (1). Ce mode de décomposition de la décharge se produit aussi avec l'étincelle. Il n'y a oscillation apparente que si la source est elle-même alternante : c'est ce qui a lieu avec une bobine d'induction alimentant une ampoule très résistante; mais on sait qu'en circuit ouvert (c'est à peu près le cas) le secondaire de la bobine est le siège d'un phénomène oscillatoire.

Nature de la matière radiante. — Les phénomènes de réduction déjà décrits à propos des rayons cathodiques, la réduction du cristal par exemple, s'obtiennent également avec l'afflux cathodique (cathode à partie centrale en cristal) et avec les Kanalstrahlen.

Si on remarque en même temps que les phénomènes cathodiques sont indépendants de la nature du gaz contenu dans les ampoules, qu'en particulier le rapport $\frac{e}{m}$ est invariable, on est conduit à admettre l'unité de la matière radiante. Or l'hydrogène est le seul gaz simple réducteur connu, et précisément son spectre est toujours visible dans la couche lumineuse qui marque l'arrivée de l'afflux à la cathode. Il est même facile, avec un tube très bien desséché, de voir apparaître les raies de l'hydrogène vers une électrode quand celle-ci est cathode, et disparaître si elle est anode, le spectre des autres gaz restant invariable.

L'hydrogène se distingue déjà des autres gaz par des propriétés toutes particulières ; c'est en particulier le seul gaz capable de traverser les métaux chauffés au rouge. On peut donc admettre actuellement que les projectiles cathodiques sont constitués par de l'hydrogène à l'état soit d'atomes, soit de particules plus petites encore, telles que le rapport $\frac{e}{m}$ puisse être pour elles mille fois plus grand que pour l'atome électrolytique.

(1) En élevant le potentiel de charge on peut obtenir une décharge presque instantanée, accompagnée d'un bruit sec. Il y a production de rayons cathodiques à bas potentiel, très déviables, le gaz de l'ampoule s'illumine en masse et le condensateur se décharge complètement. *Il est possible* que des oscillations électriques se produisent dans ce cas particulier.

CHAPITRE II

LES CORPS RADIO-ACTIFS

L'émission spontanée.

§ 1. — Rayons uraniques.

Au commencement de l'année 1896, M. Becquerel découvrit que les sels d'urane, et l'uranium lui-même, émettent spontanément, sans apport d'énergie apparent, des rayons possédant la propriété de décharger les corps électrisés, d'impressionner les plaques photographiques, et capables de traverser des corps opaques, papier noir, lames métalliques, en un mot comparables aux rayons Röntgen. L'intensité des effets obtenus était toutefois très faible : un fragment d'uranium placé au contact d'une plaque sensible, ne donne une impression bien nette qu'au bout de plusieurs heures de pose.

Malgré le peu d'intensité de ces effets, le phénomène n'en est pas moins remarquable et il n'est aucunement analogue à la phosphorescence : cette dernière suppose une excitation préalable ou une action chimique ; elle exige en outre que le corps considéré soit à un certain état physique et chimique ; la blende hexagonale est phosphorescente, le sulfure de zinc ordinaire ne l'est pas, non plus que l'oxyde ou le métal. Il en est tout autrement pour le rayonnement de l'uranium. Que le métal ait été exposé ou non à la lumière, qu'il soit placé dans l'air ou dans le vide, qu'on le fasse entrer dans quelque combinaison que ce soit, il est toujours actif, et la puissance radio-active du composé ou du mélange qui le contient ne dépend que de la proportion d'uranium qu'il renferme. Il s'agit d'une propriété atomique indéfiniment persistante, et l'origine de l'énergie dépensée nous est inconnue.

Le thorium et ses composés émettent également des rayons analogues à ceux de l'uranium (Mme Curie).

Dans une série de recherches sur cette question, M. et Mme Curie ont reconnu que la pechblende débarrassée de l'uranium qu'elle renferme est parfois plus active que l'uranium même, et que la radio-activité de ce

minerai accompagne les composés de bismuth et de baryum quand on fait la séparation des métaux de la pechblende.

Par une série de fractionnements, les auteurs précédents ont réussi à obtenir des sels de bismuth ou de baryum de plus en plus actifs, jusqu'à dépasser 50.000 fois l'activité de l'uranium. Les rayons émis par quelques grammes de ces corps illuminent nettement, à 50 centimètres de distance, un écran au platino-cyanure. Les sels de baryum sont même auto-phosphorescents et constituent une source de lumière sans dépense apparente d'énergie. Les noms de *polonium* et de *radium* ont été donnés aux métaux hypothétiques, chimiquement analogues au bismuth et au baryum, et auxquels serait due la radio-activité.

Dans la même voie, M. Debierne a obtenu des composés extrêmement actifs renfermant probablement un élément voisin du thorium, l'*actinium*.

Les rayons du polonium sont arrêtés par de minces lames métalliques ; ceux du radium au contraire traversent aisément des lames de verre ou de métal de 1 centimètre d'épaisseur.

Le rayonnement du radium est particulièrement remarquable ; non seulement il persiste indéfiniment, mais il augmente d'intensité, jusqu'à quintupler, après la préparation. La radio-activité du radium peut se communiquer temporairement à des corps quelconques (zinc, aluminium, laiton, plomb, bismuth, nickel, carbonate de baryum, sulfure de bismuth, gélatine, papier). Cette radio-activité induite peut atteindre cinquante fois celle de l'uranium ; un lavage ne la fait pas disparaître. Elle s'atténue peu à peu avec le temps et au bout de quelques heures est réduite au dixième environ de sa valeur initiale.

§ 2. — **Le Radium.**

En 1899, MM. Stefan Meyer et Schweidler, et M. Becquerel découvrirent presque en même temps qu'une partie des rayons du radium est déviée

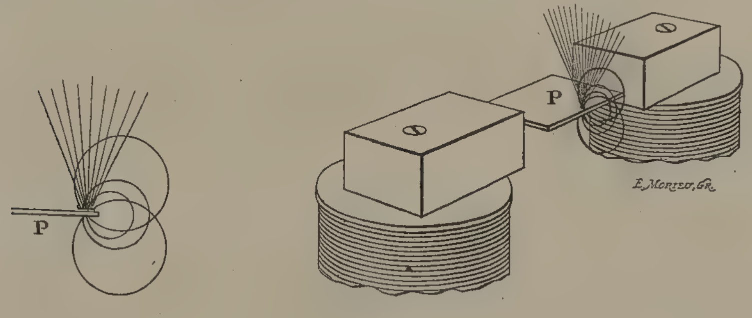


FIGURE 211.

par un champ magnétique. Si par exemple un échantillon de sel de baryum radifère, placé dans une petite coupelle en plomb, est posé sur une plaque

photographique P, disposée la gélatine en dessous, entre les pôles A et B d'un puissant électro-aimant (fig. 211), une partie des rayons suit les trajectoires curvilignes indiquées sur la figure et va impressionner la surface sensible après avoir contourné le bord de la plaque. Le reste du rayonnement ne subit aucune déviation.

La déviation magnétique suit les mêmes lois que pour les rayons cathodiques ; elle est accompagnée d'une dispersion qui indique la complexité du rayonnement, mais le spectre magnétique est continu, ce qui n'a pas lieu avec les rayons des tubes de Crookes. La puissance de pénétration est d'autant plus grande que les rayons sont moins déviables.

Pour analyser ces rayons, nous avons dirigé sur une plaque photographique P (fig. 212), et suivant une incidence presque rasante, un faisceau

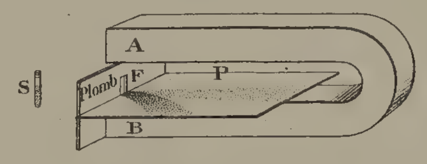


FIGURE 212.

émis par une source très petite S et défini par une fente F pratiquée dans une barre de plomb. Un aimant AB rejetait sur le côté les rayons déviables. Dans ces conditions, les divers rayonnements marquent leur trajectoire sur la plaque sensible, et voici ce qu'on obtient : 1° avec une pose courte (quelques heures), si la plaque est nue, et que sur le trajet des rayons on n'ait rien interposé, ou seulement une feuille d'aluminium battu pour arrêter la lu-

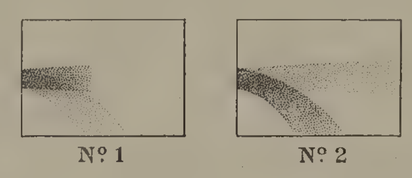


FIGURE 213.

mière du sel de baryum radifère, on obtient le cliché représenté figure 213 (n° 1), sur lequel apparaissent deux faisceaux bien distincts, l'un dévié, l'autre absolument rectiligne et très intense, mais limité à un trajet de quelques centimètres ; si la moitié de la fente est masquée par une lame d'aluminium de quelques centièmes de millimètre d'épaisseur, la moitié correspondante du faisceau rectiligne est supprimée. Ce faisceau n'est autre que celui des rayons non déviables, très intenses, décrits par M. et Mme Curie, rayons qui dans l'air ne se propagent pas au delà de 7 centimètres et sont beaucoup moins pénétrants que les rayons déviables ; 2° Avec une pose de plusieurs jours, la plaque photographique étant entourée de plusieurs feuilles de papier noir, ou recouverte d'une feuille d'aluminium, on a le cliché n° 2. Il y a

encore un faisceau non dévié, mais sa trace est plus faible que celle des rayons déviables. Par contre, elle est visible sur toute la longueur de la plaque. Ces nouveaux rayons, au lieu d'être moins pénétrants que les rayons déviables, le sont beaucoup plus. Si en effet au lieu d'une plaque sensible on en met deux ou trois superposées, la trace du faisceau rectiligne est visible sur toutes, tandis que les rayons déviables, arrêtés par l'épaisseur du verre, n'impressionnent que la première, à moins d'exagérer beaucoup la pose.

L'aspect des clichés montre, d'autre part, que les rayons non déviables ne sont nullement la limite des rayons déviés.

Ainsi le radium émet trois rayonnements distincts : l'un déviable par l'aimant, les deux autres insensibles à son action et se distinguant l'un de l'autre par une énorme différence de pouvoir pénétrant. Il est actuellement difficile d'affirmer qu'ils appartiennent à la catégorie des rayons X ; cependant, au moins pour les rayons très pénétrants, la comparaison peut être faite : ils traversent en effet sans réfraction ni réflexion tous les corps, impressionnent les plaques photographiques et déchargent les corps électrisés, c'est-à-dire rendent l'air conducteur. Ces deux dernières propriétés appartiennent d'ailleurs aux trois espèces de rayons.

Rayons cathodiques émis par le radium. — La déviation magnétique implique le transport de charges négatives. M. et Mme Curie ont mis ce phénomène en évidence de la manière suivante : un bloc de plomb relié à un électromètre est entouré d'une enceinte métallique mince reliée au sol. L'intervalle est exactement rempli par de la paraffine (pour éviter l'inconvénient résultant de la conductance de l'air). Quand on met un échantillon de sel radifère près de l'appareil, l'électromètre indique que le bloc de plomb reçoit des charges négatives. Inversement, si le sel est mis à la place du plomb, les charges négatives sortent de l'appareil, et l'électromètre accuse une charge positive.

Comme pour les rayons cathodiques des tubes de Crookes, le transport de charges négatives conduit à admettre que les rayons déviables sont le résultat d'une émission matérielle. Les expériences de M. H. Becquerel confirment cette hypothèse. Après avoir vérifié que les rayons en question sont déviés par le champ électrostatique, ce physicien a comparé les déviations électrostatique et magnétique d'un même faisceau et, appliquant la méthode de M. J.-J. Thomson, a obtenu ainsi deux équations donnant la vitesse V des particules et le rapport $\frac{e}{m}$ de la charge à la masse. Ce rapport $\frac{e}{m}$ a été trouvé sensiblement égal au rapport correspondant pour les rayons cathodiques $\left(\frac{e}{m} = 10^7\right)$. La vitesse serait un peu supérieure et comprise entre la moitié et les deux tiers de la vitesse de la lumière, mais variable d'ailleurs avec l'espèce de rayons considérée, les plus déviables étant les moins rapides.

Ajoutons que les rayons du radium ozonisent l'air comme les rayons cathodiques et provoquent également la condensation des vapeurs sursaturées.

La détermination de $\frac{e}{m}$ et de V a permis d'évaluer approximativement l'énergie émise en une seconde par le radium ; il suffit de mesurer la charge totale mise en liberté, d'où on déduit la masse émise et la force vive. L'énergie ainsi libérée sans dépense apparente correspond, pour 1 gr. de matière active, à un joule en 600 heures environ.

Ainsi le radium (et aussi l'uranium) produit à la fois des rayons comparables aux rayons X et des rayons cathodiques ; il émet des particules matérielles électrisées qui se meuvent avec une énorme vitesse. Ces rayons déviables du radium ont une puissance de pénétration beaucoup plus grande que les rayons cathodiques des tubes de Crookes : ils traversent d'une manière appréciable des lames de métal de 1 centimètre d'épaisseur, et, ce qui est plus remarquable, suivent dans l'air ordinaire des trajectoires bien définies, au lieu de se diffuser en tous sens comme les rayons de M. Lénard.

L'émission spontanée d'électricité par le radium est également tout à fait extraordinaire. Si ce corps était placé dans le vide parfait, les rayons cathodiques entraîneraient au loin l'électricité négative et le radium se chargerait positivement jusqu'à ce que l'attraction qu'il exercerait sur les particules négatives arrête l'émission. Ce phénomène ne peut se produire dans l'air, les gaz étant rendus conducteurs par les rayons.

Les belles recherches de M. Becquerel et de M. et Mme Curie nous ont ainsi fait connaître ce que personne n'aurait pu prévoir, une source spontanée d'énergie radiante et d'énergie cathodique.

§ 3. — **Applications.**

On ne peut évidemment envisager qu'avec la plus grande réserve l'avenir réservé aux corps radio-actifs, mais, actuellement, sans même parler des difficultés de préparation de ces corps et de leur excessive rareté, il ne faut pas songer à les utiliser pour la radiographie.

Les rayons du polonium sont trop peu pénétrants pour cet usage, et ne se propagent pas au delà de 4 à 5 centimètres dans l'air. Le même inconvénient existe pour la partie la plus intense du rayonnement du radium. Les rayons déviables peuvent, il est vrai, impressionner une plaque photographique en une demi-heure à 25 centimètres de distance, au travers d'un objet tel que la main ; c'est le temps de pose qu'exigeaient les premiers tubes de Crookes, mais ce n'est pas une radiographie qu'on obtient ainsi. Les rayons cathodiques ne traversent pas en effet l'obstacle à la manière des rayons X, ils se diffusent en tous sens et voilent la plaque sans donner

d'image véritable. Il faudrait donc les supprimer au moyen d'un aimant ou d'une lame métallique épaisse. Il resterait alors les rayons très pénétrants à propagation rectiligne, mais ils sont trop peu intenses pour être utilisables.

Dans l'état actuel de la question on ne peut songer qu'à une application thérapeutique et mettre à profit la propriété que possède le radium d'émettre indéfiniment des particules électrisées capables de pénétrer profondément dans les tissus. Encore n'en faudrait-il user qu'avec la plus grande prudence, en raison des accidents graves que détermine l'action prolongée des rayons du radium.

P. Villard,

Docteur ès sciences.

III. — ÉTUDE DES RAYONS X.

CHAPITRE PREMIER

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES ET PROPAGATION DES RAYONS X

Ce chapitre renferme l'étude sommaire des propriétés générales des rayons X et l'étude détaillée de leur propagation et de leur transmission. C'est la première partie de ce que l'on peut appeler l' « *Optique des rayons de Röntgen* » en entendant par là l'étude de ces rayons comparés aux rayons lumineux. Cette comparaison, avec les analogies précieuses et les différences profondes qu'elle révèle entre les deux types de rayons, est utile à poursuivre pour apprendre à appliquer judicieusement les propriétés des rayons X autant que pour approfondir la nature de ces radiations nouvelles. La comparaison des rayons X avec les rayons cathodiques et les essais de théorie des rayons X sont également exposés dans ce chapitre.

§ 1. — **Caractères généraux.**

Soit une ampoule de verre renfermant un gaz suffisamment raréfié pour qu'une certaine différence de potentiel statique ou oscillante, établie par un moyen convenable entre deux régions de l'ampoule, provoque à travers le gaz raréfié une *décharge cathodique* (1).

L'expérience a montré en 1895 au professeur W. C. Röntgen (2) qu'à l'extérieur d'une telle *ampoule cathodique* en activité se propage une nouvelle espèce de rayons, dénommés par lui rayons X, caractérisés par les effets suivants :

(1) Au sujet de la décharge cathodique, voir l'avant-dernier chapitre.

(2) W. C. Röntgen, *Sitzunzsber. d. Würburger physik. med. Gesell.*, 1er mémoire, décembre 1895. — Deuxième mémoire : mars 1896 (*Journal de Physique*, 3e série, t. V, p. 101, et 189). — 3e mémoire : *Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin*, 7 mai 1897. L'*Eclairage électrique*, 4e année, t. XII, n° 30, p. 157 (1897).

L'ampoule cathodique et toutes les parties de l'appareil électrique qui excite la décharge cathodique sont supposées complètement entourées d'une boîte de métal mince (en aluminium, par exemple) opaque à tous les rayons lumineux connus et qui, reliée électriquement au sol, empêche aussi tout effet électrique connu de se produire à l'extérieur. Cependant si l'on approche de la boîte métallique une surface recouverte de platino-cyanure de baryum, ce sel s'illumine, devient *luminescent*, à peu près comme s'il recevait des rayons lumineux invisibles ultra-violets (1). D'autre part, une plaque photographique, exposée dans l'obscurité au voisinage de l'enceinte métallique qui renferme l'ampoule cathodique, est impressionnée, c'est-à-dire est susceptible de noircir ultérieurement lorsqu'on la plonge dans un bain révélateur, comme si elle avait reçu des rayons lumineux. Il est à remarquer que les divers corps capables de devenir *luminescents* (phosphorescents ou fluorescents) sous l'action des rayons ultra-violets, comme le sont la plupart des platino-cyanures, deviennent aussi luminescents sous l'action des rayons X ; de même les diverses préparations photographiques sont impressionnées par les rayons X, d'autant plus, en général, qu'elles sont plus sensibles aux rayons lumineux.

Si l'on place un objet quelconque entre l'enceinte et l'écran fluorescent au platino-cyanure, on aperçoit sur l'écran luminescent une ombre de l'objet, plus ou moins sombre, suivant la nature de la substance qui forme l'objet. La même ombre apparaît en clair sur une plaque photographique substituée à l'écran, puis plongée dans un bain de développement. L'ampoule cathodique, l'objet et son ombre sont en ligne droite : on peut donc bien dire que l'ampoule cathodique émet des *rayons*.

Si l'on place un second objet sur le trajet des rayons qui donnent la silhouette du premier, celle-ci est assombrie, et demeure visible tant que le second objet n'est pas trop épais. De plus, elle n'est pas en général déplacée ni déformée ; cela n'arriverait pas dans le cas des rayons lumineux, à cause de la déviation imprimée par la réfraction à travers le second objet. C'est donc dire, du moins en première approximation, que les rayons X ne se réfractent pas. Grâce à cette propagation rectiligne au travers des corps les plus divers, les rayons X projettent la silhouette d'un corps sous la même forme que si ce corps était isolé dans l'espace. Quelle que soit la nature de l'enveloppe (opaque ou non à la lumière) qui renferme un corps, moins transparent aux rayons X que l'enveloppe, l'ombre de ce corps apparaît. Telle est l'ombre des os de la main projetée par les rayons X à travers les chairs d'un vivant, aussi bien que s'il s'agissait des os d'un squelette, à cela près qu'elle est entourée de l'ombre moins accusée des chairs.

On sait qu'une lame de verre qui laisse passer la lumière visible l'arrête quand elle est pulvérisée et que cette différence tient à la réflexion de la

(1) Pour l'étude de la luminescence provoquée par les rayons ultra-violets, voir dans cette quatrième partie : « I. Étude générale des radiations », chapitre IV, §§ 4 et 5.

lumière sur les parcelles du verre pulvérisé. Au contraire, en pulvérisant un corps quelconque, on n'altère pas en général sa transparence pour les rayons X. Il faut en conclure que les rayons X ne se réfléchissent pas sensiblement à la surface des corps et que, s'ils s'y diffusent, ce doit être en assez faible proportion (1). Il est à peine besoin de dire combien ces particularités des rayons X simplifient le mécanisme de formation des silhouettes.

A côté de leur propriété d'exciter la luminescence de certains corps (*action radioscopique*) et de celle d'impressionner les préparations sensibles à la lumière (*action radiographique*), les rayons X présentent, parmi diverses autres propriétés, un troisième mode d'action comparable en importance aux deux précédents : ils déchargent rapidement et complètement les corps électrisés, soit positivement, soit négativement. On le constate aisément en les faisant tomber sur un conducteur électrisé relié à un électromètre, ou, plus simplement, en les faisant tomber dans un électroscope à feuilles d'or à travers la paroi mince de cet électroscope constituée par un métal léger, tel que l'aluminium (2).

§ 2. — **Transmission des rayons X.**

On vient de voir que les métaux n'ont pas pour les rayons X l'opacité presque absolue qu'ils ont pour la lumière ; les parois de la boîte d'aluminium mince qui renferme l'ampoule cathodique sont très transparentes aux rayons X. Le cuivre, le zinc sont déjà bien moins transparents. Les métaux très lourds, comme le platine, l'or, le mercure, le plomb sont moins transparents encore ; cependant ces corps, les plus opaques aux rayons X que l'on connaisse parmi les corps usuels, peuvent encore être traversés, sous une épaisseur qui peut varier d'une fraction de millimètre, pour les rayons X ordinairement employés, à une valeur comparable au centimètre pour des rayons X suffisamment pénétrants. Il existe en effet toute une gamme de rayons X, de plus en plus pénétrants à mesure qu'ils sont produits dans une ampoule cathodique dont l'atmosphère intérieure est de plus en plus raréfiée et dont les rayons cathodiques ont des vitesses de plus en plus grandes (3).

Si tous les corps peuvent être traversés par des rayons X convenablement choisis, inversement on ne connaît pas de corps aussi transparents pour ces rayons que l'eau ou le quartz le sont pour la lumière. Ainsi les verres les plus transparents aux rayons lumineux affaiblissent les rayons X qu'ils transmettent à peu près autant que l'aluminium et finissent par les arrêter,

(1) La dissémination des rayons X et les transformations qui l'accompagnent sont étudiées plus loin (chap. II).

(2) L'étude de cette action électrique des rayons X sera faite en détail plus loin (chap. III, § 399).

(3) Pour le mode d'excitation des ampoules cathodiques, voir troisième partie de ce livre, chapitre Ier.

par exemple sous une épaisseur de plusieurs millimètres, plusieurs centimètres ou décimètres, suivant les rayons employés. Les os, plus transparents que la plupart des verres, le sont notablement moins que les chairs, le bois, la paraffine, l'eau, qui se laissent traverser sous une épaisseur supérieure, par exemple, au décimètre.

Ces dernières substances sont moins transparentes encore que les gaz. Et cependant les gaz, l'air atmosphérique par exemple, affaiblissent eux-mêmes notablement les rayons X après un parcours de quelques mètres, et même beaucoup moins si les rayons X sont émis par une ampoule cathodique dont l'atmosphère intérieure est tout juste assez raréfiée pour qu'il y ait production des rayons X (tube à rayons X très *mou*) et qui émet ces rayons au travers d'une petite région suffisamment mince de la paroi de verre de l'ampoule. Une simple feuille de papier noir suffit à affaiblir notablement les rayons X issus d'une telle ampoule alors que plusieurs millimètres de fer n'arrêteraient pas les rayons très pénétrants issus d'une ampoule à atmosphère très raréfiée excitée par des oscillations électriques suffisamment rapides (tubes à rayons X très *dur*).

Pour bien comprendre les particularités des phénomènes de transmission, il est indispensable d'avoir présent à l'esprit le fait capital suivant : les rayons X issus de toutes les ampoules cathodiques se comportent comme un mélange de rayons inégalement pénétrants ; dans la transmission, les rayons les plus pénétrants se trouvent de plus en plus complètement séparés des rayons plus absorbables étouffés par le corps traversé ; un faisceau de rayons X ainsi *filtré* par le passage au travers d'un écran se trouve, *en même temps qu'affaibli*, *devenu plus pénétrant* ; c'est ce que montre bien l'expérience suivante due à L. Benoist et D. Hurmuzescu, qui ont découvert les premiers cette *hétérogénéité des rayons X* (1) : une lame d'aluminium réduit dans un certain rapport, à la moitié par exemple, l'action électrique des rayons X sur le trajet desquels elle est placée normalement ; une seconde lame identique à la première et placée derrière la première réduit à son tour l'action électrique des rayons X *transmis par la première lame*, mais elle la réduit moins que la première lame, aux deux tiers par exemple.

Il suit de là qu'un effet déterminé d'un faisceau de rayons X n'est pas toujours dû indifféremment à tous les rayons du faisceau ; certains rayons X du faisceau, plus particulièrement absorbables, produisent à eux seuls la plus grande partie de l'impression d'une couche sensible photographique, tandis que les autres rayons, plus pénétrants, traversent la couche sensible sans y laisser d'impression notable.

Il y a ainsi dans le faisceau de rayons X employé une partie plus particulièrement active sur un récepteur donné ; cette partie n'est pas constituée par les mêmes rayons suivant les transmissions déjà éprouvées par le faisceau.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences* du 17 février 1896. Le fait a été retrouvé plus tard par Roiti et par Röntgen.

On peut, dans une certaine mesure, comparer à ce qui se passe lorsqu'un faisceau de lumière blanche impressionne une plaque photographique après avoir traversé un écran coloré. De même, le récepteur employé *utilise* suivant sa nature des rayons assez différents. Ainsi une *mince* couche photographique utilise surtout les rayons les plus absorbables du faisceau incident ; une couche *plus épaisse* fait une part plus grande à l'activité des rayons X les plus pénétrants.

L'absorption des rayons X, à l'opposé de celle des rayons lumineux, se montre indépendante de la structure cristalline de la matière. Elle ne paraît pas varier sensiblement quand on passe d'un composé au mélange de même composition centésimale, pris en couches de même densité superficielle. Il convient de rapprocher ces deux ordres de faits en disant que l'absorption des divers corps pour les rayons de Röntgen présente un caractère principalement *atomique*. Les corps doivent leur absorption pour les rayons de Röntgen aux éléments plus ou moins absorbants qu'ils renferment et non sensiblement à leur mode de groupement dans les composés chimiques et les cristaux. Il résulte de là, en particulier, que l'on ne peut réussir à *polariser* les rayons X en leur faisant traverser des lames cristallines (1).

Les éléments les plus absorbants sont le plus souvent ceux qui ont un gros poids atomique (ces éléments sont souvent les plus lourds), les éléments les plus transparents sont le plus souvent ceux qui ont un faible poids atomique (ces éléments sont généralement les plus légers) : ainsi le plomb, le platine sont beaucoup plus opaques que le fer ; celui-ci l'est beaucoup plus que l'aluminium, le magnésium et surtout le diamant. Ces derniers éléments sont parmi les solides les plus transparents aux rayons X. Les divers composés de plomb, platine sont aussi assez opaques. Au contraire, le mica, les verres à base de potasse, la paraffine, l'eau, corps composés d'éléments relativement peu absorbants, sont parmi les corps les plus transparents sans cependant l'être autant que l'eau, par exemple, l'est pour la lumière (2).

§ 3. — **Visibilité des rayons X.**

Les milieux de l'œil : cornée, humeur aqueuse, cristallin et humeur vitrée, qu'un rayon traverse avant d'atteindre la rétine, sans être impénétrables aux rayons X, les affaiblissent généralement assez pour les empêcher d'exciter la rétine d'une manière sensible, de sorte qu'on ne voit pas, en général, les rayons X, surtout si le faisceau employé est faible et peu pénétrant, comme celui qu'émet un *tube mou*. Mais *on peut voir les rayons X si le tube est dur*

(1) A ce sujet, cf. G. Sagnac, *De l'optique des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui en dérivent*. Paris, Gauthier-Villars, 1900, p. 8-13.

(2) L'étude complète de la transparence des différents corps et ses applications à la radioscopie, à la radiographie est faite ci-après aux §§ 2 et 3 du chapitre III de cette « Etude des rayons X ».

et énergiquement excité (1); les rayons assez pénétrants qu'il produit peuvent alors atteindre la rétine et l'impressionner suffisamment. Il suffit pour le constater de placer l'œil (paupière ouverte ou fermée) près d'un tube dur enfermé dans une boîte opaque à la lumière et transparente aux rayons X, en papier noir par exemple. L'observateur, placé depuis un certain temps à l'obscurité, voit, dès que le tube est suffisamment excité, une lueur générale dans un champ de vision circulaire. On comprend qu'on ne puisse voir la *forme* de la source des rayons X, puique ces rayons se propagent en ligne droite à travers les milieux de l'œil *sans être réfractés*, donc sans pouvoir former d'image sur la rétine. Ils impressionnent la rétine sur toute l'étendue frappée par eux. On peut limiter cette étendue impressionnée en limitant le faisceau des rayons X au moyen d'un écran de plomb suffisamment épais pour arrêter tous les rayons actifs et percé d'une ouverture convenable; par exemple si cette ouverture est une mince fente, on aperçoit, au lieu d'un large champ de vision circulaire, une ligne brillante qui est droite ou incurvée, suivant la position de la fente par rapport à l'anticathode et l'œil. Cette perception est due à l'impression de la rétine sur la bande étroite que la nappe étroite de rayons X, limitée par les bords de plomb de la fente, découpe sur la surface de la rétine (2).

Les expériences ne sont pas sans danger lorsqu'on les prolonge : il importe d'avertir que les rayons X nuisent aux organes qu'ils ont traversés pendant un temps suffisant. Leurs actions sur les organes sont à rapprocher de l'action des rayons solaires sur la peau, mais elles sont bien plus à redouter, car les altérations se produisent ici à l'intérieur même des chairs et partout où peuvent pénétrer les rayons X.

§ 4. — Origine des rayons X.

D'où émanent les rayons X qu'émet l'ampoule cathodique ? Röntgen, J. Perrin et divers expérimentateurs ont constaté que partout où les rayons cathodiques (3) frappent un corps quelconque, il y a une source de rayons X. Il suffit pour s'en rendre compte de placer une ampoule cathodique devant une chambre noire de Porta dont le fond est occupé par une plaque

(1) G. Brandes et E. Dorn, *Wiedemann's Annalen d. Physik*, t. LX, p. 478-490, 1897. — E. Dorn, *loc. cit.*, t. LXVI, p. 620-622, t. LXVI, p. 1172-1176, 1898, et *Verhandl. d. Physiolog. Ges.* Berlin, Jahrgang 1896-1897, p. 87. — Cowl et Levy-Dorn, *Archiv für Physiologie*, 1897. — Kries et Nagel, *Zeitschr. für Physiologie u. Psychologie der Sinnesorgane*, t. XXIII, p. 161, 1900. — Fuchs et Kreidl, *Centralbl. für Physiologie*, t. X, n° 9. — Gatti, *loc. cit.*, t. XI, n° 15. — F. Himstedt et W. A. Nagel, *Drude's Annalen der Physik*, t. IV, p. 541-552, 1901.

(2) Röntgen, *Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissenschaften zu Berlin*, 13 mai 1897 (3e mémoire sur les nouveaux rayons). Voir aussi les auteurs déjà cités à la note précédente.

(3) Pour l'étude des rayons cathodiques, voir la division précédente de cette partie II, chapitre Ier

photographique. On recouvre de papier noir soit la plaque sensible, soit le petit orifice de la chambre de Porta. Il faut que ce petit orifice circulaire soit découpé dans une paroi métallique suffisamment opaque aux rayons X, de même que, dans l'expérience de Porta, il faut que cette paroi soit opaque à la lumière. Chaque point de l'ampoule frappé par les rayons cathodiques émet à travers le petit orifice de la chambre noire un faisceau de rayons X qui vient impressionner sur une petite région la plaque sensible placée au fond de la chambre. On a ainsi, après développement de la plaque, l'image en noir plus ou moins foncé de toutes les régions de l'ampoule qui ont émis plus ou moins de rayons X.

On constate de cette manière que la quantité des rayons X émis augmente avec celle des rayons cathodiques qui frappent l'obstacle matériel. La nature de l'obstacle influe beaucoup ; les métaux lourds émettent beaucoup plus de rayons X que le verre et, parmi eux, le platine est celui qui convient le mieux non seulement parce qu'il émet plus de rayons X que la plupart des autres corps mais aussi parce qu'il peut supporter sans danger une température assez élevée. De là résulte l'emploi des tubes dits *focus* :

Les rayons de Röntgen y prennent naissance sur une lame de platine (lame focus ou lame anticathodique), placée au point de concours (foyer) des rayons cathodiques émanés d'une cathode concave (1). Le verre de l'ampoule cathodique, n'étant pas frappé directement par les rayons cathodiques, ne risque pas de fondre comme il arrivait dans les tubes à rayons X construits sur le modèle de certains tubes de Crookes. Le verre ne reçoit plus ici que les rayons cathodiques diffusés latéralement par la lame focus sur laquelle les rayons cathodiques directs tombent à 45° environ. Le verre s'échauffe assez peu, devient fluorescent en vert sous l'action des rayons cathodiques diffusés par la lame focus, arrête ces rayons et livre passage (en les affaiblissant, il est vrai) aux rayons X issus de la même lame focus. Celle-ci pouvant être échauffée et rougir sans danger sous l'action des rayons cathodiques qui la frappent, on peut avec un tel tube focus augmenter beaucoup la puissance de l'excitation des rayons cathodiques jusqu'à avoir des rayons X cent et même mille fois plus actifs qu'avec les anciens tubes à rayons X qui rayonnaient par leur paroi de verre.

La lame focus ne rayonne que par une région de sa surface, comparable à quelques millimètres carrés environ et d'autant plus petite que le faisceau cathodique converge plus exactement sur la lame focus. Cette condition d'une source étroite, bien que très intense, est tout à fait précieuse en radiographie et radioscopie ; c'est grâce à elle qu'on peut avoir sur les écrans au platino-cyanure des silhouettes assez vives et sur les plaques photographiques des ombres suffisamment accusées, dans lesquelles on voit des *détails ;* avec une source étendue, au contraire, à moins de s'éloigner beau-

(1) Pour la constitution du tube à rayons X, voir troisième partie de ce livre, chapitre Ier.

coup, ce qui diminuerait l'intensité de l'éclairement de l'écran et l'impression radiographique, on n'aurait que des silhouettes bordées de larges *pénombres*, par conséquent à bords *flous* sans netteté, sans détails. A ce sujet, on peut remarquer que pour radiographier un objet de petite étendue tel que la main, il peut être aussi avantageux d'employer, au lieu d'un tube focus aussi puissant que possible, un tube focus de petites dimensions, par suite moins puissant, mais dont la source de rayons X est relativement plus étroite; cela permet de rapprocher le tube focus de l'objet à radiographier en conservant la même finesse de détails qu'avec le gros tube focus et sans augmenter beaucoup le temps de pose. Pour de très petits objets, on pourra employer utilement des tubes focus de quelques centimètres seulement de longueur, en forme de cigarette, qui ont été construits par E. Colardeau dès le début de l'histoire des tubes focus.

Il est remarquable que la lame focus frappée par les rayons cathodiques émet à la fois des rayons cathodiques, qu'on appelle souvent des rayons cathodiques diffusés, et des rayons X. Cette double émission a lieu en tous sens, jusque dans le plan de la lame focus et provoque ainsi jusque dans ce plan l'illumination du verre du tube, généralement en vert (cas du verre léger ordinairement employé à la fabrication des tubes à rayons X). L'émission des rayons X, dont on a seulement à parler ici, se fait suivant une loi toute différente de la diffusion de la lumière sur une surface dépolie : Gouy a reconnu le premier que l'intensité du rayonnement, presque uniforme en tous sens, s'affaiblit seulement pour les directions d'émission très rasante (1). Par exemple, les rayons X inclinés sur la surface de la lame focus jusqu'à faire avec cette surface un angle de 6° seulement ont encore la moitié de l'intensité des rayons X émis dans les mêmes conditions normalement à la lame focus. Il en résulte que l'on peut, sans diminuer beaucoup l'intensité des rayons X utilisés, diminuer beaucoup *dans un seul sens*, il est vrai, le diamètre apparent de la source des rayons X, ce qui augmente la netteté des détails en radiographie et radioscopie : il suffit, pour y arriver, de placer le tube et l'objet de manière que la droite joignant le centre de la lame focus au point le plus intéressant de l'objet à examiner soit non pas perpendiculaire, mais assez fortement oblique à cette lame. Si cette droite est dans le plan qui passe par l'axe du faisceau cathodique issu de la cathode et par la normale à la lame focus (plan d'incidence), on réduira ainsi le diamètre apparent de la source des rayons X dans le plan d'incidence; le diamètre de la source dans ce plan étant généralement plus grand que dans l'autre sens à cause de l'obliquité de la lame focus par rapport à l'axe du faisceau cathodique. On pourra en particulier amener le diamètre apparent de la source de rayons X à être constant en tous sens, comme si la source était un petit cercle perpendiculaire aux rayons X utilisés; dans ce cas, la netteté des

(1) Gouy, *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 1197, 26 mai 1896. Loi retrouvée un an plus tard par Röntgen (3e mémoire, *Wied. Ann. d. Physik*, t. LXIV, p. 21; l'*Éclairage électrique*, *loc. cit.*).

détails sera indépendante de la direction des lignes qui en définissent la forme ; c'est ce qui arrive sensiblement lorsque, la lame focus recevant les rayons cathodiques sous l'incidence de 45° environ, on utilise, comme on le fait le plus souvent, les rayons X émis au voisinage du plan d'incidence à angle droit des rayons cathodiques directs, c'est-à-dire autour de la direction dans laquelle se réfléchiraient des rayons lumineux arrivant sur la lame focus suivant l'axe du faisceau cathodique. Il est bien entendu, d'ailleurs, que d'un point à l'autre de l'écran radioscopique ou de la plaque radiographique, il y a une légère variation du diamètre apparent de la source des rayons X et par conséquent de la netteté des petits détails.

Enfin la source des rayons X dans un tube focus n'est pas limitée à la petite région de la lame focus placée au foyer du faisceau issu de la cathode. Il y a, en particulier, sur les parois de verre du tube, des régions frappées par des rayons cathodiques, au moins par les rayons cathodiques diffusés par la lame focus ; toute la région du verre du tube illuminée en vert par le choc des rayons cathodiques ainsi diffusés émet des rayons X qui peuvent *voiler* légèrement l'épreuve radiographique. On réduira ce voile en plaçant entre le tube focus et la plaque sensible, assez près du tube focus, un épais écran de plomb muni de l'ouverture juste suffisante pour laisser passer les rayons X qui traversent l'objet à radiographier ; on peut arrêter ainsi une grande partie des rayons X issus du verre du tube focus et des régions autres que la lame focus.

§ 5. — Déplacements et déformations des silhouettes radioscopiques ou radiographiques.

Lorsque le tube focus n'est pas assez éloigné de l'objet dont on veut examiner la silhouette projetée par les rayons X sur un écran radioscopique ou sur une plaque sensible radiographique, la source focus, vue des bords de l'objet, présente un diamètre apparent appréciable. Les bords de la silhouette sont alors accompagnés d'une région de pénombre qui en diminue la netteté. Ce qui est plus grave encore, les silhouettes de deux objets (deux os, deux régions distinctes d'un membre ou de la partie examinée de l'objet) qui se projettent sur la même région de l'écran ou de la plaque peuvent alors apparaître avec des formes que les objets n'ont pas réellement. La connaissance de ces déformations peut avoir de l'importance lorsque voulant examiner soigneusement une radioscopie ou une radiographie, on se trouve amené à tenir compte de *détails qui ne sont pas plus larges que les pénombres*. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que si le diamètre apparent de la source focus est souvent négligeable, il n'en est pas de même de celui de la région du verre du tube qui émet aussi (§ 4) des rayons X.

Les lois que nous allons examiner sont les mêmes, qu'il s'agisse de

rayons X ou de rayons lumineux (1). Deux silhouettes voisines semblent souvent *s'attirer*, *se déformer* mutuellement à distance. Des illusions de ce genre, variées et souvent inattendues, se groupent autour du cas fondamental de la silhouette d'un objet A disposé en totalité ou en partie dans la pénombre d'un objet antérieur B ; si, entre le corps opaque A (fig. 214) et

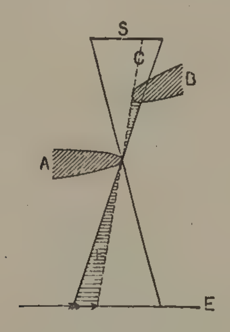


FIGURE 214.

une source rayonnante S de diamètre apparent sensible, on introduit progressivement un second corps opaque B, le faisceau C des rayons qui éclairent la pénombre du bord de A tourné vers B est supprimé dans une région F de plus en plus étendue. L'ombre pure de A s'étend dans la région F vers la silhouette de B, qui semble ainsi l'*attirer*. Si l'éclairement de l'écran E est assez intense, les pénombres ne paraissent guère distinctes de la pleine lumière et le bord apparent de la silhouette de A est défini par un contour très voisin de la limite de l'ombre pure ; la silhouette du corps A envahit alors une région F, qui ne semblait pas lui appartenir avant l'introduction du corps B, et l'illusion d'une attraction devient très frappante.

On peut le constater en observant les silhouettes projetées par une source lumineuse étendue sur un écran diffusant, ou par une source étendue de rayons de Röntgen sur un écran fluorescent au platino-cyanure de baryum.

On peut aussi enregistrer ces silhouettes sur des plaques sensibles; pour les photographies et les radiographies ainsi obtenues, l'accroissement du temps de pose peut augmenter la netteté du phénomène. Dans le cas général, la partie déformée de la silhouette du corps A, ayant une pénombre rétrécie à la suite de l'introduction du corps B, prend un *contour plus net*, tandis que le contour de la silhouette de A demeure relativement diffus pour les parties de A qui pénètrent moins profondément dans la pénombre de B ou qui sont extérieures à cette pénombre ; la déformation de la silhouette et son augmentation de netteté sont *localisées*.

D'après ces principes, il est facile d'expliquer les divers cas de défor-

(1) G. SAGNAC, *Société française de physique*, séance du 15 janvier 1897. *Journal de Physique*, 3e série, t. VI, p. 169, 1897. *De l'optique des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui en dérivent*, p. 14. Paris, Gauthier-Villars, 1900.

mations des silhouettes, dont voici quelques exemples pour le cas de deux écrans successifs seulement :

La silhouette d'une tige A, pénétrant dans la pénombre d'un écran B *obliquement* au bord de B, apparaît *incurvée* et *déviée* comme si les rayons qui projettent la silhouette étaient *déviés* en passant près de la tige A.

Si le corps B est un système de tiges parallèles, la tige A apparaît en silhouette comme brisée en une série de fragments incurvés vers la normale aux tiges B, ou comme transformée en une sorte de torsade.

La figure 215 reproduit la photographie obtenue en plaçant devant une source circulaire un anneau opaque assez étroit pour ne donner qu'une pénombre sur une plaque sensible ; entre l'anneau et la plaque sensible



FIGURE 215.

étaient disposées parallèlement cinq tiges opaques, A_1, A_2,..., A_5, assez étroites pour ne projeter que des pénombres. On voit que les tiges présentent des ombres pures en pénétrant dans la pénombre que projette l'anneau ; elles paraissent s'y élargir et s'y incurver, sauf la tige centrale A_3 ; à l'intérieur de la silhouette de l'anneau, les silhouettes des tiges A_2, A_4 ne prolongent pas les silhouettes extérieures. La tige A_1 est comme *dédoublée* et la tige A_5 est comme *brisée* dans le milieu de la pénombre annulaire. Ces dernières singularités tiennent à ce que le diamètre apparent de la source, vue du milieu de la hauteur de la tige A_1, est divisé par l'anneau en deux parties projetant chacune une ombre particulière ; le milieu de la silhouette de A_5 est projeté par la partie gauche de la source, tandis que le haut et le bas de la silhouette de A_5 sont projetés par la partie droite de la source et se trouvent, par suite, projetés plus à gauche.

Avec une source de rayons X, on obtient le même résultat qu'avec une

source lumineuse *de même diamètre apparent*. C'est dire que la propagation rectiligne des rayons ne se trouve pas plus en défaut que celle de la lumière dans les mêmes conditions; l'illusion s'efface progressivement à mesure qu'on restreint le diamètre apparent de la source rayonnante, par exemple en éloignant cette source. Plusieurs observateurs avaient cru, en présence de déformations semblables observées dans les radiographies, que les rayons X avaient été déviés ou s'étaient dédoublés pour fournir une silhouette tordue ou dédoublée. Dans la recherche d'un corps étranger, on pourrait de même, si l'on n'y prenait garde, conclure faussement, par exemple, à l'existence de deux projectiles au lieu d'un; on pourrait se tromper sur la position exacte et sur la forme du corps étranger ou du petit organe étudié.

Il faut encore tenir compte, d'une manière générale, de la variation de l'éclat intrinsèque d'un point à l'autre de la source et de la forme des parties les plus actives de la source. Par exemple, la radiographie d'un petit corps peut avoir une *forme annulaire;* il suffit qu'elle soit faite au moyen d'un tube focus dont les rayons cathodiques forment un faisceau conique creux coupé avant ou après son sommet par la lame focus; celle-ci forme alors une source de rayons de Röntgen dont l'éclat est maximum suivant une *zone annulaire* (1).

La comparaison avec les silhouettes projetées par une source lumineuse de même forme et de même position est particulièrement précieuse. Mais il faut se souvenir que la lumière peut se réfléchir, se réfracter (2), se diffracter; les rayons de Röntgen se propagent, au contraire, très exactement en ligne droite; ils subissent seulement de la part de tous les corps qu'ils rencontrent ou traversent une (chap. II, ci-après) *dissémination* sans aucune relation avec la réflexion ni la diffusion de la lumière sur les mêmes corps.

§ 6. — **Perfection de la propagation rectiligne.**

Dans le mémoire où il expose sa découverte (3), Röntgen insiste sur la perfection de la propagation rectiligne des nouveaux rayons sans interférence ni réfraction notable.

Le fait qu'on ne peut pas observer de franges d'interférence ou de diffrac-

(1) De même, les bords d'une flamme cylindrique creuse ont un éclat intrinsèque supérieur à celui du milieu de la flamme; aussi une tige parallèle aux bords de la flamme donne-t-elle sur un écran une silhouette plus sombre aux bords qu'au milieu; pour un éclairement suffisant, cette silhouette d'une tige apparaît comme la silhouette de deux tiges parallèles distinctes.

(2) De la réfraction de la lumière peut résulter le changement de l'*attraction apparente* en *répulsion apparente*. Cf. G. SAGNAC, Illusions de la vue qui accompagnent les défauts d'accommodation, *Société française de physique*, séance du 15 janvier 1897, *Journal de Phys.*, 3e série, t. VI, p. 175, 1897.

(3) RÖNTGEN, premier Mémoire, *Sitzungsberichte der Würtzburger physik. medec. Gesell.*, décembre 1895; *Journal de Physique*, 3e série, t. V, p. 101.

tion ne fournit pas de renseignement sûr relativement aux longueurs d'onde possibles d'un faisceau de rayons *hétérogène*.

Or, les faisceaux de rayons X utilisés jusqu'ici se comportent comme hétérogènes ; ils deviennent, en effet, plus pénétrants après avoir traversé une lame d'aluminium ou de toute autre matière. D'autre part, les préparations photographiques utilisées pour les enregistrer sont sensibles à des rayons de Röntgen de pouvoirs de pénétration très différents.

Mais l'*épanouissement par diffraction* (1) d'un faisceau de rayons au delà d'une petite ouverture d'un écran opaque est toujours lié par les lois géométriques de la diffraction aux longueurs d'onde des rayons. On a été ainsi conduit à étudier la propagation des rayons de Röntgen à travers une fente étroite et, pour avoir plus d'intensité, à travers un système de plusieurs fentes parallèles fournies par un réseau de fils de platine (2).

Le dispositif réalisé par G. Sagnac, qui a le premier employé cette méthode, est particulièrement adapté à la recherche de la diffraction de radiations non réfrangibles, peu actives, issues d'une source de diamètre apparent notable. C'était le cas des générateurs des premiers tubes à rayons X où les rayons cathodiques venaient frapper une notable étendue de la paroi de verre. Le résultat a été que si l'épanouissement par diffraction existe, il est certainement inférieur à celui que présenteraient des rayons de longueurs d'onde notablement inférieures à quatre centièmes de micron. Les longueurs d'onde principales que peuvent avoir les rayons de Röntgen enregistrés par la plaque sensible sont ainsi considérablement inférieures à celles de tous les rayons lumineux connus, puisque la longueur d'onde 1/10e de micron est la limite extrême que l'on ait pu atteindre jusqu'ici dans le spectre ultra-violet (Schumann) (3).

C'est avec un tube focus que Gouy (4) a pu reculer jusqu'à $0^{\mu},005$ la limite supérieure des longueurs d'onde possibles des rayons de Röntgen. Gouy choisit encore, pour caractériser nettement la diffraction, l'*épanouissement* d'un faisceau de rayons transmis par une fente étroite. Il emploie une seule fente verticale étroite f (largeur $0^{mm},045$), placée à 2.500 millimètres de la plaque sensible et à la même distance d'une source linéaire de rayons de Röntgen formée par la lame verticale l de platine d'un tube focus rayonnant presque par la tranche et jouant le rôle d'une étroite fente rayonnante. Bien que les rayons de Röntgen transmis par la fente f ne fassent qu'un angle de 6° avec le plan de la lame l de platine, leur intensité est encore la moitié de l'intensité maximum qu'on obtiendrait en plaçant la lame l normale au faisceau lf. Grâce à cette ingénieuse utilisation de la puissance du

(1) Pour l'étude de la diffraction, voir quatrième partie de ce livre, chap. II, § 4.

(2) G. Sagnac, *Comptes rendus de l'Acad. des sc.*, t. CXXII, p. 784, 30 mars 1896. L'*Optique des rayons de Röntgen*, p. 3. Paris, Gauthier-Villars, 1900.

(3) V. Schumann, *Von den brechbarsten Strahlen und ihrer photographischen Aufnahme*. Eders Jahrb., 1896. *Revue générale des sciences*, 1894. *Drude's Annalen der Physik*, t. V, p. 349, 1901.

(4) Gouy, *Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 44 ; 6 juillet 1896.

tube focus, Gouy a pu réduire la durée de pose à quatre heures, malgré les grandes distances employées.

Plus récemment, Haga et Wind ont fait des recherches encore plus précises sur l'épanouissement par diffraction au moyen d'un dispositif analogue à celui de Gouy, en portant à 10 mètres la distance de la lame focus *l* à la fente diffringente *f*, ainsi que celle de la fente *f* à la plaque photographique. Le temps de pose s'est élevé à cent heures réparties sur dix jours. Ils ont trouvé que *les longueurs d'onde des rayons de Röntgen sont inférieures à quelques* dix-millièmes de micron, c'est-à-dire au moins 2.000 fois plus petites que la longueur d'onde de la lumière verte (1).

Remarquons que les expériences précédentes ne donnent aucun renseignement sur les longueurs d'onde que peuvent avoir les rayons de Röntgen les plus absorbables du faisceau issu de la lame focus, lesquels peuvent être arrêtés par le papier noir ou le châssis de bois entourant la plaque sensible, par l'air qu'ils ont traversé pour l'atteindre ou par la paroi de verre du tube focus.

L'ombre d'un mince fil de platine projetée sur une plaque sensible par les rayons de Röntgen n'est pas déplacée par l'interposition de prismes variés (en cire, aluminium, crown, ébonite, soufre, flint, fer, zinc). Gouy a fait les expériences les plus précises à ce sujet avec la lame focus rayonnant presque par la tranche. S'il y a une différence entre l'indice de réfraction et l'unité, elle ne dépasse certainement pas 1/200.000 pour les cinq premiers corps, par exemple (2). On voit que la *silhouette* d'un fil donnée par les rayons de Röntgen, même à travers la matière, est observée grâce au faible diamètre apparent de la source et à l'*absence de diffraction*, avec la précision des meilleures mesures optiques. Les rayons de Röntgen fournissent une méthode excellente pour réaliser expérimentalement un *faisceau de lignes droites*.

§ 7. — Maximums et minimums apparents d'éclairement ; fausses franges.

Des apparences de franges se peignent souvent sur les radiographies et font penser à des phénomènes de diffraction, par exemple. Ces phénomènes

(1) H. Haga et C.-H. Wind, Diffraction of Röntgen Rays. *Académie des Sciences d'Amsterdam*, p. 420-426 ; 25 mars 1899, et *Wiedemann's Annalen*, t. LXVIII, p. 884 ; 1899. Ces physiciens se demandent s'ils n'ont pas réellement observé la diffraction des rayons de Röntgen qui, dans leurs expériences auraient des longueurs d'onde de $0^{\mu\mu},01$ à $0^{\mu\mu},27$ ($1^{\mu\mu} = 0^{\mu},001$). Malheureusement, l'épanouissement observé n'est visible qu'au microscope et l'interprétation des délicates particularités des clichés au moyen de la diffraction souffre des objections. (Cf. G. Sagnac, *Journal de Physique*, 3e série, t. VIII, p. 644, 1899.)

(2) Gouy, *loc. cit.*' t. CXXIII, p. 43. De son côté, Beaulard montrait, dans le cas d'un corps très léger, le potassium, que la différence entre l'indice de réfraction et l'unité ne peut atteindre 1/10.000 (*loc. cit.*, 30 mars et 3 août 1986, *l'Éclairage électrique*, t. VIII, p. 419). Plus tard, Voller et Valter (*Wiedemann's Annalen*, t. LXI, p. 88, 1897) établissaient le même résultat pour le diamant à 2/10.000 près.

ne sont pas dus à la diffraction, ni à aucune singularité de la propagation des rayons X. Ils sont dus seulement à des particularités, d'ailleurs très curieuses, de l'impression radiographique. On retrouve des phénomènes analogues en optique, et les *fausses franges* se peignent alors aussi bien sur la *rétine* que sur les plaques sensibles.

Les ombres des bords d'une fente large, projetés par la *lumière* issue d'une fente suffisamment fine, présentent des franges de diffraction étudiées par Fresnel (1). Si la largeur de la fente éclairante augmente, l'influence de la diffraction disparaît graduellement ; cependant la rétine d'un œil qui observe l'ombre sur un écran diffusant la lumière, ou bien une plaque photographique mise à la place de l'écran, enregistrent encore des maximums d'impression qui donnent l'illusion de franges de diffraction et ne correspondent pas à des maximums réels de l'éclairement.

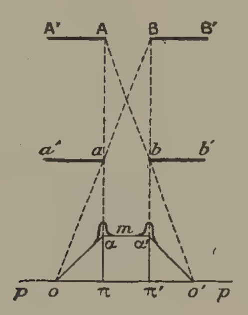


FIGURE 216.

Par exemple, si deux fentes AB et *ab* (fig. 216), de largeur commune égale à 2 millimètres sont à une distance peu supérieure à $0^{m},01$ ou $0^{m},02$, une plaque photographique *pp*, placée à une distance du même ordre au delà de la seconde fente *ab*, enregistre une frange brillante près de chaque bord de la trace du faisceau lumineux défini par les deux fentes.

On peut obtenir une épreuve sensiblement identique en plaçant contre la première fente AB, au lieu d'une source lumineuse, une source de *rayons de Röntgen* de largeur suffisante, particulièrement un tube de Crookes émettant des rayons de Röntgen par sa paroi de verre. Dans les deux cas, les deux franges qui se dessinent sur la plaque sensible sont séparées par une distance égale à 2 millimètres, c'est-à-dire à la largeur même des deux fentes ; elles sont donc précisément aux limites π et π' qui séparent la région de plein éclairement $\pi\pi'$ et les régions de pénombre πo et $\pi' o'$.

Les maximums ainsi observés ne sont pas dus à la diffraction. Le calcul

(1) Déjà la rétine de l'observateur, comme l'avait remarqué FRESNEL (*Œuvres*, t. I, p. 348, 353, 354), et aussi les couches sensibles photographiques n'enregistrent pas exactement les positions des maximums ni des minimums réels d'éclairement, c'est-à-dire les milieux réels des franges.

montre que l'éclairement aux divers points de la droite pp varie sensiblement suivant la ligne brisée $o\alpha\alpha'o'$, dont les points anguleux α et α' correspondent aux limites π et π' entre la pleine lumière et les pénombres. Il faut donc admettre que des maximums d'impression photographique ou rétinienne se produisent aux points π et π', bien qu'il n'y ait pas réellement de maximums d'éclairement en ces points. En disposant, en effet, à la place de la fente AB, un ruban de platine porté à l'incandescence par un courant électrique, on ne peut déceler ni en π, ni en π', aucun maximum réel d'éclairement en promenant la fente étroite d'une pile thermo-électrique de part et d'autre de ces régions où l'œil voit, sur une feuille de papier blanc, une frange brillante, qu'une plaque photographique enregistre aussi très bien.

Avec une source lumineuse, le passage du phénomène réel de diffraction au phénomène essentiellement rétinien ou photographique s'observe facilement en éclairant le bord d'un écran opaque avec une fente d'abord fine, qu'on élargit progressivement. On peut aussi observer la pénombre $o\pi$ (fig. 217) du bord a, d'un écran aa' projetée par une source S de diamètre apparent Δ invariable.

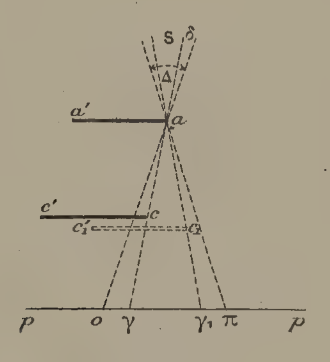


FIGURE 217.

On introduit alors graduellement dans la pénombre $oa\pi$ le bord rectiligne c, parallèle à a, d'un second écran opaque cc'. Pour la position c voisine de la limite ao de l'ombre pure, le diamètre apparent de la source S est réduit à une valeur δ assez faible et l'ombre de c observée sur une feuille de papier blanc pp, convenablement éloignée, est bordée d'une ou deux franges de diffraction de Fresnel. Quand le bord c de l'écran mobile est enfoncé vers $a\pi$ dans la pénombre $ao\pi$ du bord fixe a, on voit s'effacer graduellement la frange grise de diffraction qui indiquait un minimum réel d'éclairement ; en même temps apparaît de plus en plus nettement, en bordure de la frange grise de diffraction, du côté de l'ombre, une frange brillante qui subsiste bientôt seule et se trouve alors à la limite γ_1 de la pleine lumière et de la pénombre du bord c_1; de même le bord fixe a projette une frange

brillante analogue en π à la limite de sa pénombre ; ce sont ici encore des *maximums apparents* (1).

Si la source de lumière est remplacée par une source de rayons de Röntgen ayant même diamètre apparent, le phénomène enregistré par une couche sensible photographique pour la position c_1 de l'écran est le même que pour la lumière. Mais pour la première position c, tandis que les rayons lumineux dessinent sur la couche sensible un phénomène réel de diffraction, les rayons de Röntgen continuent à dessiner un maximum apparent situé à la limite p de la pénombre ; c'est la seule différence nette que l'on puisse observer entre les rayons de Röntgen et les rayons lumineux en ce qui concerne les phénomènes actuels.

Le cas de la diffraction de la lumière étant laissé de côté, voici maintenant les divers résultats obtenus photographiquement avec un faisceau de rayons lumineux ou de rayons de Röntgen, défini par deux fentes AB et ab. Les maximums apparents α et α' (fig. 216) correspondant aux limites π et π' des

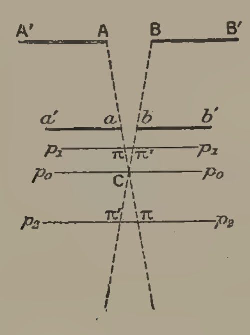


FIGURE 218.

pénombres des bords a et b, comprennent nécessairement une zone moins impressionnée m. Si la fente ab est plus étroite que AB (fig. 218), les deux maximums correspondant à π et π' se rapprochent à mesure que le plan de la couche sensible est éloigné de $a'b'$; ces deux maximums se réunissent en un seul quand le plan de la couche sensible p_0p_0 passe par la droite C d'intersection des plans Aa et Bb ; le minimum intermédiaire a graduellement disparu. Au delà de C, pour la position p_2p_2 de la couche sensible, les deux maximums reparaissent séparés en π' et π, toujours aux bords des pénombres, mais *intervertis*, c'est-à-dire que le maximum π de droite sur p_2p_2, correspond au maximum π situé à gauche dans le cas de p_1p_1 ;

(1) Cette expérience réussit bien au soleil, à condition que le bord a soit assez éloigné (à quelques mètres par exemple) de l'écran pp sur lequel il projette sa silhouette. Dans le cas du soleil, comme aussi d'une source qui n'a pas de bords rectilignes parallèles aux bords a, c des écrans employés, le point anguleux α du gradient de l'éclairement (fig. 216) ne peut exister même si l'on néglige l'influence de la diffraction. Mais il y a encore près de α une *rotation* rapide de la tangente à la ligne du gradient.

c'est le maximum π situé dans les deux cas sur le plan Aa qui subsiste seul quand on enlève l'écran bb'; au contraire, c'est π', situé sur le plan Bb, qui est produit dans les deux cas par le bord b de l'écran bb'.

De même, la silhouette d'une tige ab (fig. 219) projetée par les rayons issus

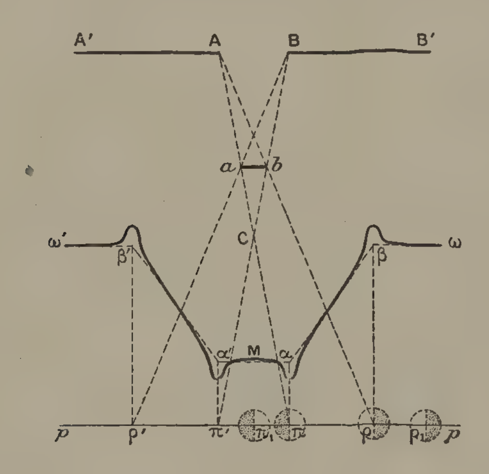


FIGURE 219.

d'une fente AB parallèle à ab, est bordée extérieurement de deux maximums β et β'. Si la plaque sensible pp est placée au delà de la droite C, intersection des plans Aa et Bb, et par suite au delà de l'ombre pure projetée par ab, le milieu de la silhouette de ab sur pp correspond à un éclairement sensiblement uniforme de π en π' ; l'éclairement est continûment croissant de π en ρ et de π' en ρ', puis de nouveau sensiblement uniforme ; le gradient réel de l'éclairement est très voisin de la ligne brisée $\omega'\beta'\alpha'\alpha\beta\omega$. Dans ces conditions, en même temps que des *maximums* d'impression en β et β', la plaque sensible présente des *minimums* d'impression en α et α', c'est-à-dire là où elle enregistrerait des maximums si la tige ab était remplacée par une fente de même largeur et de même position ; la région M comprise entre α et α' présente naturellement un maximum relatif d'autant plus net que α et α' sont plus rapprochés ; l'effet produit en $\alpha M\alpha'$ par une tige ab est ainsi complémentaire, en quelque sorte, de l'effet que produirait une fente ab. Un effet de ce genre s'observe aisément dans la silhouette d'un cylindre opaque (bâton, poteau) projetée par le soleil sur un écran (feuille de papier, mur blanc) éloigné du cylindre de plus de 120 fois le diamètre de ce cylindre (par exemple au delà de 2 mètres et demi pour un bâton de 2 centimètres de diamètre).

Ces divers résultats sont compris dans l'énoncé suivant : l'impression *radiographique*, *photographique* ou *rétinienne* est maximum ou minimum là où la ligne qui représente la variation réelle de l'éclairement présente un point anguleux, ou du moins une inclinaison rapide de sa tangente.

C'est un maximum d'impression si la pointe de l'angle est dirigée vers le

haut (par exemple, β et β′, fig. 219); c'est un minimum si la pointe de l'angle est dirigée vers le bas (1) (par exemple, α et α′, fig. 219).

Cette loi a été vérifiée dans les différents cas en mesurant les distances qui séparent les minimums et les maximums, par exemple ππ′ et ρρ′ dans le cas de la figure 219.

Il est indispensable de tenir compte de cette loi pour interpréter correctement les particularités des silhouettes projetées par les rayons de Röntgen ou les rayons lumineux, et pour ne pas attribuer à une propriété spéciale du faisceau de rayons étudié, par exemple à une *réfraction* ou à une *diffraction*, des phénomènes qui résultent du mécanisme de formation des silhouettes sur les couches sensibles photographiques ou des images sur la rétine. Ainsi, les systèmes de fentes ou de tiges à bords parallèles produisent des *apparences de franges de diffraction*, dont les positions dépendent, comme il a été dit, de la distribution des pénombres et *ne suivent pas du tout les lois géométriques de la diffraction*. Il en résulte que si l'on assimilait ces franges apparentes à des franges de diffraction, les longueurs d'onde des rayons de Röntgen ou des rayons lumineux, déterminées d'après cette fausse interprétation, *varieraient* d'une expérience à l'autre avec les largeurs des fentes ou les distances des écrans. Cette circonstance aurait pu avertir plusieurs observateurs de l'erreur d'interprétation qu'ils ont ainsi commise (2).

Maintenant, si l'on cherche à quoi tient la production de ces maximums et minimums d'impression, on peut admettre que l'*impression en un point* d'une couche sensible photographique, ou de la rétine d'un œil, n'est pas uniquement définie par l'éclairement que les rayons de Röntgen ou les rayons de lumière incidents produisent réellement en ce point; *elle dépend* aussi *de la loi de variation de l'éclairement* dans le voisinage du point considéré; en d'autres termes, *il y a action à distance des points voisins sur le*

(1) Il resterait à approfondir les lois photométriques du phénomène, c'est-à-dire à rechercher l'influence de l'intensité de l'éclairement et de la forme de son gradient sur l'intensité des maximums et minimums apparents. Il est déjà évident, et l'expérience confirme que : la netteté d'un maximum ou d'un minimum diminue graduellement à mesure que l'angle du gradient de l'éclairement, correspondant à ce maximum ou à ce minimum, se rapproche de 180°, ou encore lorsque cet angle se trouve de plus en plus rapproché d'un angle dirigé en sens inverse, de façon que les deux effets inverses, maximum et minimum, empiétant l'un sur l'autre, tendent à s'effacer mutuellement.

(2) Kummell a cru démontrer de cette manière que les rayons de Röntgen ont une longueur d'onde voisine de 3 microns et en a déduit qu'ils ne peuvent pas être des vibrations transversales de l'éther lumineux (*Abhand. d. Naturf. Gesell. in Halle*, t. XXI). Calmette et G.-T. Thuiller ont cru trouver des longueurs d'onde du même ordre de grandeur (*Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 877). Au contraire, L. Fomm trouve 0,014 micron (*Wiedemann's Annalen*, t. LIX, p. 350); M. J. Precht trouve 0,016, 0,36 et 0,83 micron (*loc. cit.*, t. LXI, p. 353-360); et plus tard Maier commet encore la même erreur que Fomm dans des conditions comparables (*loc. cit.*, t. LVIII, p. 903-916).

Villari a retrouvé (*Lincei*, 11 juin 1898), sans les expliquer, des maximums et minimums d'impression dans les radiographies obtenues avec des tubes de Crookes et aussi avec des tubes focus. Dans ce dernier cas, les pénombres les plus larges sont fournies par la source étendue constituée par le verre du tube focus, qui émet des rayons de Röntgen sous l'influence des rayons cathodiques diffusés par la lame focus.

point considéré. Cette hypothèse une fois admise, il est aisé de voir que l'action à distance d'un point sur un autre ne doit pas y renforcer l'action *directe* des rayons incidents ; ce doit être une *action secondaire destructive.* Les phénomènes ne sont pas explicables au moyen de *l'irradiation*, en entendant par ce mot la diffusion, *sans transformation*, des rayons incidents autour de chaque point de la couche sensible atteint par eux (1).

§ 8. — **Conclusions de l'étude des silhouettes.**

D'une part, il existe de profondes différences entre les rayons de Röntgen et tous les rayons lumineux connus : absence de diffraction, de réfraction, de réflexion régulière, de polarisation. Mais, d'autre part, les singularités que l'on avait cru constater dans leur mode de propagation et dans la formation des silhouettes radiographiques s'évanouissent à la suite d'un examen attentif, en sorte qu'il ne reste plus un seul de ces phénomènes qui décèle dans ces rayons une nature essentiellement distincte de celle de la lumière. Bien plus, ces divers phénomènes qui se divisent en deux groupes principaux : déformations des silhouettes et variations apparentes de l'éclairement, sont tout à fait semblables à ceux que présentent les rayons lumineux, réserve faite du cas de la diffraction pour la lumière et de la dissémination pour les rayons X. Le second groupe de phénomènes, à la suite de l'étude qu'en a faite Sagnac, révèle d'étroites analogies entre le mode d'action si singulier des rayons X sur les couches sensibles et le mode d'action de la lumière sur les mêmes couches ou encore sur la rétine.

§ 9. — **Rayons cathodiques et Rayons X.**

Il convient maintenant de passer en revue les diverses hypothèses que que l'on peut émettre au sujet de la nature des rayons de Röntgen.

L'auteur de leur découverte insiste, dans son premier mémoire, sur l'indifférence qu'ils présentent vis-à-vis des moyens par lesquels nous savons agir sur la direction des rayons lumineux, sur leurs vibrations. Il déclare que l'hypothèse de *vibrations longitudinales* de l'éther lui semble de plus en plus vraisemblable. Dans son troisième mémoire, il insiste sur l'analogie que présente la loi d'absorption de ses rayons par les divers corps avec la loi d'absorption des *rayons cathodiques*, qui semble réglée principalement par la quantité de matière traversée ; il considère comme assez vraisemblable l'hypothèse qui assimilerait les rayons qu'il a découverts à une espèce particulière de rayons cathodiques. Cette seconde hypothèse présente cette difficulté : les rayons cathodiques sont chargés d'électricité néga-

(1) Pour le développement de cette théorie des fausses franges et, en même temps, du phénomène de renversement de l'impression photographique, cf. G. SAGNAC, *De l'Optique des rayons de Röntgen*, p. 29-34. Paris, Gauthier-Villars, 1900.

tive ; dans l'état actuel des faits, on les définirait même volontiers comme un bombardement d'électricité négative issue de la cathode d'un tube de Crookes en activité ; c'est l'ancienne *matière radiante* de Crookes, qui en avait pressenti l'électrisation négative sans pouvoir la démontrer nettement (1) ; les rayons cathodiques ainsi formés d'un véritable *courant électrique de convection* sont *déviables à l'aimant*, et c'est même leur propriété la plus anciennement connue ; ils sont, pour la même raison, déviés par le champ électrique. Or, il a été jusqu'ici impossible de déceler une déviation magnétique des rayons de Röntgen, et les résultats annoncés à ce sujet ont été reconnus inexacts. D'autre part, il a été impossible de démontrer que ces rayons sont électrisés : dans une expérience que P. Curie et G. Sagnac ont faite à ce sujet, ils ont pu reconnaître que le courant équivalent à la circulation de l'électricité dans un faisceau large et intense de rayons de Röntgen était insensible et, en admettant qu'il existe, certainement inférieur à 10^{-12} ampères (2).

La seconde hypothèse du professeur Röntgen conduirait donc à admettre qu'il existe des rayons cathodiques extrêmement différents de tous les rayons jusqu'ici désignés sous ce nom ; ces rayons, relativement très pénétrants, seraient extrêmement peu électrisés et extrêmement peu déviables par le champ magnétique, de façon que ces propriétés nous demeureraient actuellement cachées. On a vu que les rayons de Röntgen prennent naissance quand les rayons cathodiques d'un tube à vide frappent une paroi de verre, de platine ou d'une substance quelconque. Il est établi que, en même temps, le corps frappé par les rayons cathodiques les diffuse en tous sens et les rayons cathodiques ainsi diffusés ne peuvent, pas plus que les rayons incidents, traverser la paroi de verre du tube ; les rayons cathodiques peuvent seulement traverser une feuille très mince d'un corps léger, par exemple quelques microns d'aluminium ; encore une telle feuille ne transmet-elle pas les rayons cathodiques en ligne droite : elle les *diffuse* en tous sens sans paraître en modifier notablement la nature ; c'est ce qui arrive, en particulier, dans l'expérience qui a permis au professeur Lénard (3) de *faire sortir* les rayons cathodiques du tube à vide où ils ont pris naissance ; les rayons cathodiques extérieurs ainsi obtenus par diffusion à travers la mince paroi d'aluminium battu (*rayons de Lénard*), absorbables par quelques centimètres d'air atmosphérique, sont, comme les rayons dont ils proviennent, chargés d'électricité négative déviables par l'aimant, par le champ électrique, et capables, à leur tour, de provoquer l'émission des rayons de Röntgen quand ils frappent un corps quelconque. Il faudrait donc admettre qu'une partie des rayons cathodiques incidents est transformée en une

(1) Cette importante démonstration a été faite par J. Perrin (*Comptes rendus*, t. CXXI, p. 1131 ; 30 décembre 1895). Voir plus haut : II, chapitre Ier, § 2.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1013, 6 avril 1900.

(3) Ph. Lénard, *Wied, Ann.*, t. LI, p. 225, 1894 ; t. LII, p. 23, 1894, et t. LVI, p. 255, 1895. Voir plus haut : II, chapitre Ier, § 6.

autre variété de rayons cathodiques considérablement moins électrisés et plus pénétrants qui seraient les rayons X, tandis qu'une autre partie serait disséminée sans transformation bien profonde.

Il est plus facile de comprendre que l'arrêt brusque des charges électriques transportées par les rayons cathodiques doit provoquer, en vertu d'un effet d'induction électro-magnétique, une série d'impulsions isolées de l'éther. Cette manière de voir émise par le professeur Stokes (1) a été développée par le professeur J.-J. Thomson (2) à l'aide de la théorie électro-magnétique de Maxwell ; il résulte de cette théorie que des particules électrisées se déplaçant avec une vitesse égale à une fraction de celle de la lumière doivent, en frappant la paroi du verre ou la lame focus de platine d'un tube à vide, provoquer une émission d'impulsions transversales et isolées de l'éther. Chaque impulsion est formée de deux parties et l'impulsion *change de sens* d'une partie à l'autre. La longueur occupée dans l'espace par chaque impulsion est de l'ordre des épaisseurs des particules électrisées. Le professeur Stokes a montré lui-même que la diffraction doit être insensible pour de pareils ébranlements. Reste à montrer que les rayons ainsi constitués ne peuvent se réfracter.

§ 10. — **Théorie de la propagation des rayons X.**

G. Sagnac est arrivé à cette conclusion que des vibrations de longueurs d'onde notablement inférieures aux plus courtes distances mutuelles des particules les plus rapprochées des corps se propageraient sans réfraction à travers la matière (3). La manière de voir qui le conduit à ce résultat consiste à regarder les particules matérielles comme des centres de réflexion des vibrations de l'éther (4) ; en l'appliquant à la transmission de la lumière dans les milieux en repos ou en mouvement, il avait pu déjà rendre compte en particulier très exactement de la remarquable expérience d'entraînement des ondes lumineuses par l'eau qui les transmet, réalisée en 1851 par Fizeau. Or, les mêmes hypothèses s'étaient adaptées immédiatement aux rayons ultra-violets. Sans entrer ici dans les détails de cette théorie, indiquons le sens des principaux résultats relatifs aux rayons X.

Rappelons d'abord qu'un certain nombre de phénomènes conduisent à considérer la matière comme *discontinue*, comme formée d'un amas de *molécules*, qui sont identiques les unes aux autres dans un corps pur de tout mélange et formées à leur tour d'*atomes* plus ou moins nombreux et divers, d'autant d'espèces différentes qu'il entre d'éléments chimiques diffé-

(1) Sir G. Stokes, *Wilde Lecture proceed. of Manchester Litterary and Philosophia Society*, 1897.

(2) J.-J. Thomson, A theory of the connexion between cathode and Röntgen rays. *Phil., Mag.*, 5e série, t. XLV, p. 172, 1898.

(3) G. Sagnac, *Journal de Physique*, 3e série, t. IX, p. 189 et 199, 1900.

(4) G. Sagnac, *loc. cit.*, et *Revue Générale des Sciences*, 11e année, p. 243, 1900.

rents dans le corps considéré. Dans le cas d'un gaz à 0° et sous la pression atmosphérique, le nombre de ces molécules contenues dans un petit cube ayant pour côté un millième de millimètre, un *micron*, est environ le cube de 100, soit un million (1) ; c'est dans ce sens qu'on dit qu'il y a 100 molécules par micron ou que la distance moyenne des molécules est 1/100e de micron, c'est-à-dire 1/100.000e de millimètre. Alors dans une longueur d'onde de la lumière simple qui correspond au vert moyen du spectre, c'est-à-dire dans 1/2 micron, il y a environ 50 molécules d'un gaz à 0° et sous la pression atmosphérique. Dans la même longueur d'onde, il y a au moins dix fois plus de molécules d'un corps solide, soit, par exemple, mille molécules par longueur d'onde et mille millions dans un petit cube ayant pour côté cette longueur d'onde. C'est grâce à la grandeur de ce nombre de molécules d'un solide dans les longueurs d'onde de la lumière que G. Sagnac peut réussir à expliquer que la lumière traverse un corps solide suivant les lois qu'indiquent aussi les théories où la matière est considérée comme continue. Mais pour G. Sagnac ces lois ne sont pas absolument rigoureuses : dans les gaz, les molécules, étant moins rapprochées, doivent déjà commencer à fonctionner isolément et chacune doit *réfléchir en tous sens* une partie des vibrations qui l'abordent ; en même temps qu'il transmet la lumière en ligne droite en retardant sa propagation, le gaz doit disséminer une petite partie de cette lumière. Dans l'atmosphère, même complètement privée de poussières, la diffusion de la lumière du soleil par les molécules des gaz de l'air produit le *bleu de ciel*. Du rouge au violet, la longueur d'onde de la lumière allant en diminuant, le nombre de molécules par longueur d'onde va aussi en diminuant, et la diffusion de la lumière augmente d'après la théorie, ce qui explique la prédominance du bleu pour l'œil.

Imaginons maintenant des ébranlements, de direction quelconque par rapport aux rayons, mais de longueurs d'onde (2) considérablement plus petites que celles de tous les rayons lumineux connus, jusqu'à être très inférieures aux distances des particules les plus voisines des corps. Les particules fonctionnent alors, vis-à-vis des vibrations qui les abordent, aussi indépendamment les unes des autres que les grains d'un nuage de poussière dans le cas de la lumière ; elles disséminent une partie des vibrations et laissent passer le reste *sans en modifier la vitesse*, qui demeure ainsi la même que dans le vide, quel que soit le corps traversé. Or, on sait que le phénomène de la *réfraction* à la surface de séparation de deux milieux n'est possible que si la vitesse de propagation des vibrations n'est pas la

(1) Au sujet des raisons qui conduisent à fixer une valeur du nombre des molécules contenues dans un volume déterminé d'un corps, voir : Sir W. Thomson (lord Kelvin) : *Conférences scientifiques et allocutions*, *Constitution de la matière*. Traduction française de Lugol avec notes de M. Brillouin ; in-8°. Paris ; Gauthier-Villars, 1893.

(2) Les impulsions brusques, transversales aux rayons, étudiées par G. Stokes et J.-J. Thomson, et formées de deux parties de sens opposés, peuvent être considérées, d'après le théorème de l'intégrale de Fourier, comme un cas particulier des ébranlements permanents périodiques. C'est dans ce sens qu'on peut les appeler vibrations lumineuses ultra ultra-violettes.

même dans les deux milieux. Les rayons qui ne sont pas réfléchis par les particules et renvoyés en tous sens sont ainsi transmis sans changer de direction, quels que soient les milieux qu'ils traversent, que les surfaces de séparation de ces milieux soient polies ou irrégulières.

On peut, il est vrai, imaginer dans le cas de la lumière aussi bien que dans celui des rayons X, que les vibrations directement transmises par l'ensemble des particules, c'est-à-dire celles des vibrations que les particules ont laissé passer sans les réfléchir, se propagent dans tous les milieux avec la même vitesse que dans le vide ; mais cette conséquence inévitable de la théorie de G. Sagnac n'est pas en contradiction avec l'expérience. La même théorie établit, en effet, que ces vibrations lumineuses directement transmises sont extrêmement affaiblies après avoir traversé quelques couches de *molécules* d'un corps tel que le verre, l'eau, c'est-à-dire (d'après Maxwell) une épaisseur de verre ou d'eau d'un cent-millième de millimètre, tandis que les réflexions des rayons X sur les particules matérielles et les diverses causes d'absorption de ces rayons par la matière ne les empêchent pas de traverser des épaisseurs de matière facilement accessible à l'expérience. Cette dernière propriété des rayons X peut d'ailleurs s'expliquer en admettant que les particules matérielles ne *résonnent* que faiblement sous l'action des ébranlements incidents supposés changer très rapidement de sens. Ainsi, en supposant les rayons X formés de vibrations, que ces vibrations soient les vibrations transversales de l'éther étudiées par G. Stokes et J.-J. Thomson, que ce soient des vibrations longitudinales, il suffit d'imaginer, d'après Sagnac, que les longueurs d'onde de ces vibrations dans le vide soient notablement inférieures aux distances des particules les plus voisines des corps pour rendre compte des particularités si étranges de la propagation des rayons X.

En même temps qu'elles expliquent l'absence de réfraction des rayons X, ces considérations conduisent à cette conséquence que tous les corps en transmettant les rayons X doivent les absorber, si peu que ce soit. L'une des causes inévitables de cette absorption est que les diverses particules disséminent en tous sens une partie des ébranlements incidents : tous les corps doivent être des *milieux troubles* pour les rayons X. L'expérience montre, en effet, que dans l'optique si spéciale des rayons X, la dissémination des rayons par la matière est un phénomène aussi général que leur propagation rectiligne. C'est cette dissémination des rayons X que nous allons maintenant étudier.

CHAPITRE II

RAYONS SECONDAIRES. — DISSÉMINATION ET TRANSFORMATION DES RAYONS X

§ 1. — Définition et caractères généraux des rayons secondaires.

Un faisceau de rayons de Röntgen pénètre dans la matière en s'y affaiblissant graduellement sans que ses trajectoires rectilignes cessent d'être bien définies ; mais chaque élément de matière rencontré par les rayons émet en tous sens des rayons que G. Sagnac appelle *secondaires* pour indiquer qu'ils dérivent des rayons de Röntgen issus du tube à vide ou rayons *primaires ;* ces expressions n'impliquent aucune hypothèse. Les rayons secondaires peuvent à leur tour se disséminer pour donner des rayons *tertiaires*. Ce qui distingue ces phénomènes de *dissémination* d'une *diffusion pure*, c'est qu'ils sont accompagnés d'une *transformation des rayons X :* les rayons secondaires ou tertiaires sont souvent beaucoup moins pénétrants que les rayons primaires qui les produisent.

On sait, d'après une expérience fondamentale du professeur Röngten, que les rayons découverts par lui provoquent, en frappant le platino-cyanure de baryum, une émission de lumière visible. Plusieurs autres corps, comme la plupart des platino-cyanures, le tungaste de calcium, etc., sont aussi *luminescents* sous l'action des rayons X. La couleur de la lumière varie avec le corps qui en est la source. On connaît même un corps, le *spath-fluor*, qui émet, sous l'influence des rayons X, des rayons invisibles *ultra-violets* (1) dont la *réfraction* a fixé la longueur d'onde. Ces phénomènes de transformation des rayons de Röntgen en rayons lumineux visibles, ou non, peuvent être désignés sous le nom de *radioluminescence*, analogue à l'expression de *photoluminescence* employée par le professeur E. Wiedemann pour désigner les transformations des rayons lumineux par les corps fluorescents ou phosphorescents. *Il ne faut pas les confondre avec les phénomènes d'émission*

(1) Winkelmann et Straubel, Ueber einige Eigenschaften der Röntgenstrahlen. *Jenaische Zeitschrift für Naturw.*, t. XXX ; 1896.

secondaire. La radioluminescence se présente seulement avec certains corps ; elle peut varier énormément avec le degré de division de ces corps ou l'état de poli de leur surface ; par exemple, les rayons invisibles et réfrangibles émis par le spath-fluor, sous l'influence des rayons de Röntgen, sont beaucoup plus intenses lorsque le spath-fluor est réduit en poudre ou dépoli que lorsqu'il est en masse compacte polie. Au contraire, l'émission secondaire se présente avec les matières les plus diverses ; son intensité et la transformation qui l'accompagne dépendent principalement de la nature des éléments chimiques que renferme le corps frappé par les rayons de Röntgen, sans que l'état de division paraisse influer notablement (1).

On peut déceler à distance la présence des rayons secondaires disséminés par un corps quelconque au moyen des trois principaux modes d'action employés pour reconnaître les rayons X : *l'action sur les couches sensibles* employées en photographie (*action radiographique*), *l'excitation de la luminescence des platinocyanures* (*action radioscopique*), *la décharge des conducteurs électrisés* (*action électroscopique*).

Le dispositif le plus simple consiste à faire tomber les rayons X, issus de la lame focus *l* (fig. 220), d'un tube à vide sur la surface d'un corps quel-

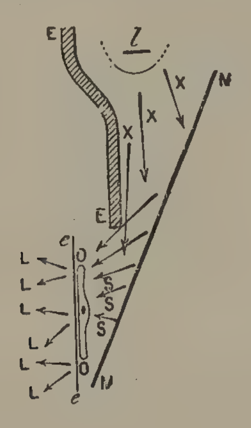


FIGURE 220.

conque MM pris, par exemple, sous forme de plaque ; on place devant MM un écran *ee* au platinocyanure de baryum, protégé par un écran de plomb EE contre l'action directe des rayons X. Quand le tube à rayons X est excité, l'écran *ee* émet des rayons lumineux L, comme s'il recevait des rayons X. Ces rayons lumineux L sont excités par les rayons secondaires S qu'émet le corps MM sous l'influence des rayons X. Ces rayons S projettent sur l'écran *ee* la silhouette d'un objet OO, tel que la main appliquée derrière l'écran.

Pour augmenter la luminosité de l'écran, il y a avantage à ne pas adosser

(1) Pour l'historique de la question et pour tous ses développements, voir G. SAGNAC, *De l'optique des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui en dérivent*, p. 42. Paris, Gauthier-Villars, 1900.

la couche de platinocyanure à une lame de carton noir plus ou moins épaisse qui arrêterait notablement les rayons secondaires dans certains cas ; il vaut mieux former la couche luminescente d'une mince feuille de collodion obtenue par coulage sur verre et saupoudrée de platinocyanure avant le moment de la dessiccation ; on adosse cette pellicule luminescente à une feuille de papier blanc glacé qui renvoie à travers la mince pellicule une grande partie de la lumière émise par le platinocyanure et augmente beaucoup l'éclat de la luminescence ; pour empêcher la lumière étrangère d'agir, on recouvre la feuille de papier blanc d'une simple feuille de papier noir, ou bien on opère dans l'obscurité, le tube à rayons X étant enfermé dans une boîte de papier noir. Si la face observée de l'écran luminescent est nue et tournée vers la source MM des rayons secondaires, on peut aussi adosser la pellicule de collodion à un miroir métallique. Ces précautions sont encore utiles à prendre pour la *radioscopie* des rayons X eux-mêmes.

L'*action radiographique* des rayons X se constate en remplaçant dans l'expérience précédente l'écran luminescent *ee* par une couche sensible, plaque ou pellicule photographique, dont la face sensible est tournée vers MM et protégée contre la lumière par une enveloppe de papier noir, ou bien nue si l'on opère dans l'obscurité, le tube à rayons X étant enfermé dans une boîte de papier noir.

L'*action électroscopique* des rayons S se constate très nettement en les recevant dans la cage C d'un électroscope (fig. 221) à travers une feuille mince

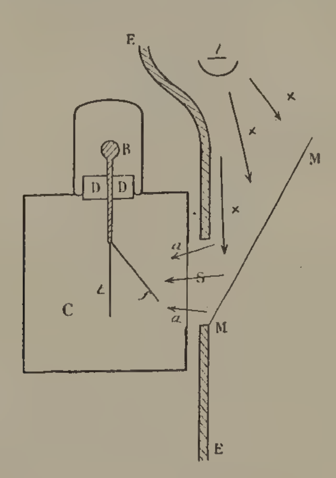


FIGURE 221.

aa en aluminium battu qui arrête les lignes de force du champ électrique intérieur de l'électroscope. La décharge de l'électroscope, protégé contre les rayons X par l'écran de plomb EE, ne peut être due qu'à l'action à distance des rayons secondaires qu'envoie le corps MM frappé par les rayons X. Elle se produit, comme sous l'influence des rayons X, complètement, quel que soit le signe de la charge de la feuille d'or *f*.

L'illumination de l'écran au platinocyanure et l'action radiographique se manifestent en même temps que l'action électroscopique, et réciproquement. Toutefois, l'action électroscopique du zinc, par exemple, dans l'expérience de la figure 221, son action radiographique dans l'expérience de la figure 220 sont beaucoup plus grandes que les actions correspondantes de l'aluminium, tandis que l'action radioscopique du zinc dans l'expérience de la figure 220 n'est pas beaucoup plus grande que celle de l'aluminium. Si, par exemple, une plaque photographique, dans l'expérience de la figure 220, est impressionnée nettement en une minute par les rayons secondaires d'une lame MM de zinc ou de fer; dans les mêmes conditions, l'action radiographique d'une plaque épaisse de paraffine ou d'aluminium passe inaperçue, à moins qu'on n'augmente beaucoup le temps de pose. Dans l'expérience de la figure 221, le mouvement de chute de la feuille d'or *f* est très lent si MM est une plaque de paraffine ou d'aluminium, mais se fait très rapidement si MM est une lame de zinc, de fer, en sorte qu'une grande déviation de la feuille d'or *f* disparaît en une seconde. Cette différence entre les activités électrique ou photographique de divers corps, surtout fréquente lorsqu'on compare un corps léger avec un corps lourd, distingue pratiquement le récepteur luminescent, qui la fait reconnaître assez faiblement, et les récepteurs radiographiques ou électriques, qui la montrent avec une très grande netteté.

Quand on emploie la méthode radiographique, il faut éviter que des effluves électriques émanés de l'appareil producteur de rayons X ne viennent impressionner la couche sensible; il suffit pour cela d'entourer soit l'appareil producteur de rayons X, soit la plaque sensible employée, d'une enveloppe d'aluminium reliée au sol; dans le second cas, il est utile que le corps émettant les rayons secondaires soit enfermé dans la même enceinte d'aluminium; de cette manière les rayons secondaires n'ont point à traverser l'épaisseur de l'aluminium. En second lieu, les métaux, en l'absence des rayons X, exercent une action spontanée sur les couches sensibles, soit au contact, soit à distance : mais il faut des jours pour que l'action spontanée d'un métal puisse s'exercer, même au contact de la couche sensible nue. Cette action spontanée est tout à fait insensible pendant la durée relativement très faible de l'action des rayons secondaires.

Pour justifier l'expression de *rayon* et démontrer que l'*émission secondaire* se fait en ligne droite, il est commode d'utiliser la propriété remarquable suivante : l'émission secondaire se fait en tout sens autour de chaque élément de matière frappé par les rayons X; si ces rayons rencontrent la surface bien plane d'un miroir, les rayons secondaires qu'ils excitent sont émis jusque dans le plan voisin de la surface du miroir.

G. Sagnac a constaté cette propriété en faisant tomber sur un miroir M (fig. 222) un faisceau de rayons X issu d'une lame focus *l*, limité par une fente *f* percée dans un écran de plomb EE, puis par le bord inférieur d'un second écran de plomb *ee* voisin de la surface du miroir M. Une plaque photographique *pp*, soit nue (dans l'obscurité, le tube focus étant entouré de papier

noir), soit enveloppée de papier noir ou encore enfermée dans un châssis de bois, n'enregistre *pas de faisceau réfléchi*, même si la surface M est formée par un bain de mercure bien immobile, et pour des incidences allant jusqu'à 75°. Mais, de la région du miroir M frappée par les rayons X partent en tout sens des rayons secondaires S qui projettent en t' la silhouette d'une tige opaque t (aiguille d'acier disposée parallèlement aux bords des écrans E et e), comme le ferait une source lumineuse de mêmes dimensions et de même position que la zone du miroir M frappée par les rayons X. Ces rayons S

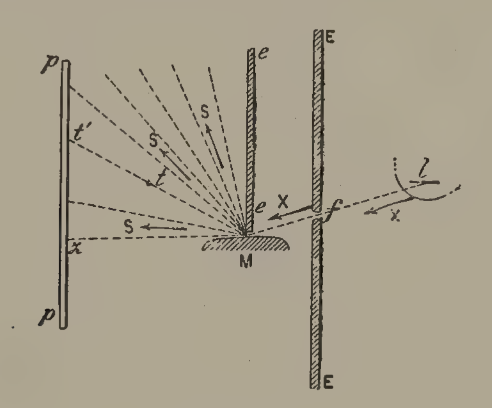


FIGURE 222.

sont émis jusque dans le plan du miroir M, où ils forment une *nappe plane de rayons* S ; l'impression de la plaque photographique *pp* est limitée vers le bas à une ligne droite z, intersection de plan de la couche sensible et de la *nappe limite des rayons* S.

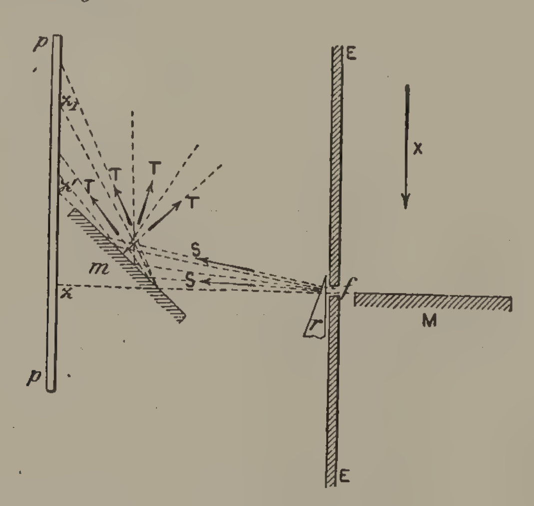


FIGURE 223.

Cette dernière particularité se constate en un temps de pose beaucoup plus court (une minute, par exemple, pour des distances de quelques centi-

mètres), si les rayons X frappent la plus grande partie de la surface d'un miroir métallique M bien plan (fig. 223), un miroir d'acier, par exemple. La ligne z, qui limite vers le bas l'impression de la plaque sensible *pp*, est une ligne droite et reste *droite* quelle que soit l'orientation du plan *pp* de la couche sensible, ce qui démontre que la nappe limite de rayons S est *plane*. Enfin cette ligne droite z est située dans le plan du miroir. Il y a donc bien une nappe plane de rayons rectilignes S envoyés suivant le plan du miroir.

Un prisme r de verre, de paraffine (fig. 223), recevant près de son arête, à travers la fente f de l'écran de plomb EE, la nappe plane limite des rayons S, la laisse passer *sans réfraction*, mais affaiblit l'action radiographique des rayons S.

Un second miroir m, placé sur le trajet des rayons S (fig. 223), avec ou sans le prisme r, arrête les rayons S sans les réfléchir. S'il y avait réflexion régulière des rayons S, la nappe plane de rayons S, envoyée suivant la tranche du miroir M, formerait, après réflexion sur m, une nouvelle nappe plane qui limiterait, cette fois *vers le haut*, à une droite z_1 l'impression de la couche sensible *pp*. Or l'impression s'étend sur *pp*, aussi bien au-dessus de z_1 qu'au-dessous ; mais, vers le bas, l'impression s'arrête à une ligne droite z' située dans le plan de la surface m; le miroir m a émis à son tour en tous sens et jusque dans son plan des *rayons tertiaires* T se propageant aussi en ligne droite.

Les trois modes d'action décrits des rayons secondaires (radioscopique, électrique et radiographique), le fait que ces actions s'exercent encore à travers des corps tels que le papier noir, l'aluminium, opaques aux rayons lumineux connus, leur propagation rectiligne sans réfraction ni réflexion régulière, les rapprochent des rayons X dont ils dérivent. Mais nous allons voir qu'ils sont souvent fort différents des rayons X générateurs, qu'ils en sont souvent une *transformation* très profonde.

§ 2. — Transformation des rayons X qui accompagne l'émission secondaire.

Un miroir de cuivre, de zinc, d'acier, de nickel,.. que frappent les rayons X, envoie sur un récepteur placé, par exemple, à quelques centimètres de distance dans l'air, des rayons secondaires que les différents milieux absorbent nettement plus que le faisceau des rayons X incidents. On le constate en comparant, soit avec une plaque photographique, soit avec un électroscope, l'opacité d'une même lame d'aluminium, d'abord pour les rayons secondaires, puis pour le faisceau de rayons X qui les produisait. Ce fait pourrait, en l'absence de toute autre considération, s'expliquer par l'*hétérogénéité* du faisceau de rayons X. On sait, en effet, que les rayons X transmis par une lame A d'aluminium, par exemple, sont plus pénétrants que l'ensemble des rayons X incidents, et l'on peut dire, en s'aidant de l'analogie, optique, que le faisceau incident est un mélange de rayons X qui diffèrent

les uns des autres par leurs *pouvoirs de pénétration* : la lame filtrante laisse passer les rayons les plus pénétrants en plus grande proportion que les autres. Il suffirait alors d'admettre qu'un miroir de fer, de zinc, par exemple, dissémine surtout les rayons X les moins pénétrants du faisceau incident ; la dissémination serait un phénomène de *diffusion élective* sans transformation, c'est-à-dire analogue à la diffusion de la lumière par les divers pigments colorés. Cette explication ne peut certainement pas suffire : par la méthode suivante, G. Sagnac a pu démontrer l'existence de la transformation :

On place une lame A, assez transparente aux rayons X, par exemple une lame d'aluminium de 1/10 ou de 1/3 de millimètre d'épaisseur, sur le trajet du faisceau issu du tube focus; puis on la transporte sur le trajet des rayons secondaires excités par le même faisceau issu du tube focus dans les mêmes conditions, de manière que l'épaisseur d'aluminium traversée par les rayons secondaires soit sensiblement la même que l'épaisseur traversée dans l'expérience précédente par les rayons X. Dans les deux cas, on étudie l'effet produit *par les rayons secondaires* sur le même récepteur (plaque photographique, électroscope ou écran au platinocyanure de baryum), sans modifier autre chose que la position de la lame d'aluminium, située dans le premier cas avant le corps frappé par les rayons X et, dans le second cas, après ce corps. S'il y avait *diffusion pure* des rayons X sans changement de pouvoir de pénétration, il serait indifférent de filtrer les rayons X *avant ou après diffusion :* l'activité des rayons secondaires enregistrée par le même récepteur serait la même quand la lame A est placée sur le trajet des rayons X et quand elle est placée sur le trajet des rayons secondaires. C'est justement ce qui n'a pas lieu : *l'ordre des filtrations influe sur le résultat.*

On peut constater cette influence de l'ordre des filtrations d'abord par des expériences purement qualitatives.

Une plaque sensible *pp* est disposée à peu près comme dans le dispositif de la figure 223, de préférence à quelques millimètres seulement de la fente *f* pratiquée dans l'écran de plomb EE, qui laisse passer un faisceau de rayons secondaires S émis par un miroir M en acier, nickel, zinc, etc. Le prisme *r* et le miroir *m* de la figure 223 sont supposés absents. En une minute, par exemple, la plaque sensible *pp* est nettement impressionnée par les rayons S du miroir M excités par un faisceau de rayons X qui, avant d'atteindre M, a traversé à peu près normalement une lame d'aluminium d'épaisseur de 1/10[e] de millimètre. Dans une seconde expérience, la lame d'aluminium précédente est transportée contre la fente *f* de la figure 223, de manière à couper à peu près normalement le faisceau des rayons S ; les autres conditions restant les mêmes, une plaque photographique *pp* de la même douzaine que la première ne montre pas d'impression appréciable dans le même temps de pose, ou du moins est relativement très peu impressionnée ; cependant la source des rayons X n'a pas sensiblement varié. D'après ces expériences, les rayons S enregistrés par la plaque *pp* proviennent de la *transformation* de certains rayons X, du faisceau reçu par le miroir M, *en rayons moins pénétrants*, dont

l'action radiographique est considérablement affaiblie par une feuille d'aluminium de 1/10[e] de millimètre.

La même expérience réussit quand la plaque photographique *pp* est remplacée par un électroscope recevant les rayons S, comme celui de la fig. 221, à travers une mince feuille *aa* en aluminium battu. La vitesse de décharge de la feuille d'or de l'électroscope *se ralentit beaucoup* quand une lame d'aluminium primitivement placée sur le trajet des rayons X au-dessus du miroir M est transportée contre la fenêtre *aa* de l'électroscope.

Dans les mêmes conditions, on peut constater, moins nettement toutefois, que la luminescence d'un écran au platinocyanure de baryum exposé en *pp* à l'action des rayons S est *plus faible*, si la feuille A d'aluminium filtre les rayons S, que si cette feuille A filtre les rayons X. On peut employer le même dispositif que pour l'action radiographique.

Ces expériences qualitatives démontrent que les actions des rayons secondaires, l'action radiographique, l'action électrique et l'action radioscopique, sont dues à des rayons moins pénétrants que les rayons X générateurs, qui ont subi une transformation. On constate très nettement cette transformation pour des métaux lourds comme le plomb, le mercure, le platine, le nickel, le fer, le zinc, le cuivre ou les mélanges et combinaisons qui en renferment ; mais la transformation paraît insensible pour les mélanges et combinaisons renfermant du carbone, de l'oxygène, de l'azote, de l'hydrogène,... la paraffine, par exemple. Les rayons secondaires des corps qui transforment les rayons X nettement sont naturellement plus absorbables par les divers milieux que les rayons secondaires de corps tels que la paraffine. Nous avons déjà dit qu'ils sont plus actifs. Ces deux propriétés ne sont évidemment pas indépendantes. Les rayons secondaires émis par un corps, même par un élément chimique, ne sont pas invariables ; leur pouvoir de pénétration se modifie avec celui des rayons X générateurs ; en tenant compte de l'influence perturbatrice due à l'absorption et à la filtration des rayons secondaires par l'air atmosphérique, G. Sagnac a constaté dans plusieurs expériences que les rayons secondaires d'un même métal devenaient plus absorbables en même temps que les rayons X dont ils provenaient.

§ 3. — Rayons tertiaires. — Transformation des rayons secondaires.

A l'observation précédente se rattache le fait suivant : une même lame d'aluminium qui absorbe et dissémine peu les rayons X absorbe et dissémine énergiquement les rayons secondaires très transformés émis par un miroir d'acier, par exemple (1).

(1) Il ne faut pas considérer cette propriété comme un caractère spécifique de l'aluminium parfaitement pur; mais elle n'en différencie pas moins les rayons secondaires très absorbables et les rayons X dont ils sont la *transformation*.

Cette émission tertiaire se constate photographiquement en quelques minutes de pose par exemple, à l'aide du dispositif représenté par la figure 224.

La fente (1) de l'écran de plomb EE laisse passer un faisceau de rayons X,

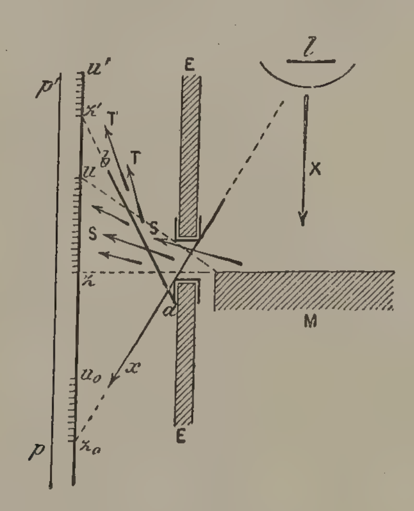


FIGURE 224.

issu de la lame focus l, qui vient impressionner en $u_0 z_0$ une plaque photographique pp' dont la couche sensible, soit nue, soit même recouverte de papier noir, est tournée vers EE et séparée de EE par quelques millimètres seulement. Les rayons secondaires S issus d'un miroir M (d'acier, de platine, de plomb ou de toute autre lame formée d'un métal lourd ou renfermant un métal lourd), exposé aux rayons X de la lame focus l, traversent la fente de l'écran EE et viennent impressionner la plaque pp' sur la zone uz, limitée à la droite z qui est dans le plan du miroir M. Une lame d'aluminium ab de 1/10e de millimètre intercepte à peu près complètement les rayons secondaires S qui traversent la moitié antérieure de la fente de l'écran EE ; mais elle les transforme en rayons tertiaires T, qui impressionnent la plaque pp' sur une zone $u'z'$ située à 1 millimètre ou 2 millimètres seulement du bord b de l'aluminium et limitée vers le bas à une droite z' dans le plan de ab (2). Après développement, le même cliché montre simultanément : 1° l'impression u_0z_0 due aux rayons X ; 2° l'impression uz due aux rayons S du miroir M ; 3° l'impression $u'z'$ due aux rayons T émis par l'aluminium ab. L'expérience est réalisée de manière que le faisceau de rayons X directs n'agisse pas en u_0z_0 notablement plus que les rayons S en uz, ni que les rayons T en $u'z'$. Cependant l'ombre de la lame d'aluminium ab donnée par les rayons X se détache très mal sur la zone u_0z_0, tandis que l'ombre donnée par les rayons S est extrême-

(1) Les lèvres de la fente sont recouvertes d'ébonite, ce qui atténue beaucoup l'émission tertiaire par les lèvres de plomb.

(2) Cette réduction de la distance a l'intérêt de diminuer l'importance de l'absorption par l'air des rayons tertiaires issus de ab et leur affaiblissement en vertu de l'influence géométrique de la distance.

ment accusée ; autrement dit, l'impression produite en *uz* par les rayons S qui ont traversé la lame *ab* est très faible à côté de l'impression due aux rayons S, qui ont traversé librement la moitié postérieure de la fente ; les rayons secondaires sont beaucoup moins pénétrants que les rayons X. Enfin l'impression tertiaire *u'z'* s'arrête nettement en *z'* dans le plan de *ab*, et les rayons T ne traversent pas sensiblement la lame *ab* même lorsque, dans la même expérience suffisamment prolongée, cette lame d'aluminium est encore traversée nettement par les rayons S ; et cependant l'impression tertiaire en *u'z'* est aussi intense que l'impression secondaire en *uz*. On voit ainsi que le pouvoir de pénétration des rayons va en diminuant par degrés quand on passe des rayons X aux rayons secondaires S, puis aux rayons tertiaires T, qui dérivent successivement les uns des autres.

Si le miroir M est supprimé et que le même tube focus, convenablement déplacé, envoie directement ses rayons X sur la lame d'aluminium *ab*, les rayons secondaires issus de la lame *ab* d'aluminium impressionnent à peine la plaque sensible *pp'*, à moins que le temps de pose ne soit beaucoup plus long que dans l'expérience de production des rayons tertiaires. C'est dire que la lame d'aluminium dissémine des rayons peu actifs quand elle est frappée par une petite partie seulement des rayons S provenant de la transformation du même faisceau de rayons X. Cette expérience de comparaison de la dissémination des rayons X et des rayons secondaires montre l'importance de la nature des rayons incidents : une même substance envoie, en général, des rayons d'autant plus absorbables et, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus actifs, que le faisceau des rayons incidents est lui-même plus absorbable. Cette remarque se trouve vraie, que l'on passe d'un faisceau de rayons X soit à un faisceau de rayons secondaires dérivant de la transformation du précédent par un métal lourd, soit à un faisceau de rayons X plus absorbable que le premier, comme cela arrive, en général, quand, en augmentant la pression de l'atmosphère raréfiée d'un tube *dur* fonctionnant seulement pour une assez grande différence de potentiel établie entre ses pôles, on passe à un tube *mou* fonctionnant pour une différence de potentiel beaucoup plus faible, c'est-à-dire avec une étincelle équivalente beaucoup plus faible. A ce point de vue, les rayons secondaires très absorbables émis par les corps lourds rappellent les rayons X assez peu pénétrants des *tubes mous*.

§ 4. — **Comparaison des différents récepteurs.**

Les couches sensibles photographiques et les électroscopes donnent le plus souvent des résultats comparables dans l'étude des rayons X et de leurs transformations (1). Ainsi les rayons secondaires des corps qui transforment

(1) A la condition toutefois que les conditions soient comparables ; en particulier, il faut que les rayons secondaires aient traversé la même épaisseur d'air depuis leur source jusqu'à la couche sensible ou jusqu'à l'entrée de l'électroscope, puis que la couche sensible soit recouverte d'une feuille d'aluminium mince, comme celle qui ferme l'entrée de l'électroscope.

beaucoup les rayons X (corps renfermant des métaux lourds, comme le plomb, le platine, l'étain, le nickel, le fer, le cuivre, etc.) sont beaucoup plus actifs sur une couche sensible ou un électroscope que ne le sont les rayons secondaires de l'aluminium, de l'ébonite, de la paraffine. Cette différence s'observe encore, mais bien moins grande, lorsque les rayons secondaires sont étudiés au moyen de la luminescence du platinocyanure de baryum. Cette différence entre les rayons secondaires du zinc ou du fer et ceux de l'aluminium rappelle celle qui sépare, dans les mêmes conditions, les rayons X relativement absorbables d'un tube *mou* où le vide est peu poussé et les rayons relativement plus pénétrants d'un tube *dur* où la raréfaction de l'atmosphère gazeuse résiduelle est plus avancée.

La méthode radiographique et la méthode électrique ont l'avantage de permettre plus facilement la distinction entre les rayons secondaires inégalement pénétrants émis par des corps différents, dans les mêmes conditions. Elles montrent aussi bien mieux la diminution de pouvoir de pénétration qui permet de reconnaître la transformation, c'est-à-dire la diminution d'activité des rayons secondaires qui se produit si une lame A, placée d'abord sur le trajet des rayons X générateurs, est ensuite transportée sur le trajet des rayons secondaires. La méthode radiographique est souvent précieuse pour les comparaisons simultanées et surtout lorsqu'il s'agit de constater un phénomène de *propagation*.

D'autre part, la méthode électrique permet d'observer immédiatement avec précision des effets que la méthode radiographique enregistre seulement après un temps de pose quelquefois assez long ; la rapidité avec laquelle se font les observations électriques, une demi-minute, par exemple, permet d'effectuer une série de mesures sans que la nature ni l'intensité des rayons X soient modifiées, et l'on s'assure facilement qu'il en est ainsi en *croisant* régulièrement ces observations de courte durée.

§ 5. — **Méthode d'étude électrique.**

Pour étudier les actions électriques des rayons secondaires émis par différents corps, G. Sagnac a employé le dispositif que représente schématiquement la figure 225.

L'électroscope C ne peut recevoir, à travers la feuille d'aluminium $a'b'$, placée sur l'ouverture o'_1 de la paroi $E'_1E'_1$ en plomb suffisamment épais, que des rayons compris dans le cône $a'd'b'c'$ défini par l'ouverture o'_1 et par l'ouverture o'_2 des écrans de plomb E'_1 et E'_2. La lame focus l du tube à vide n'envoie de rayons X que dans le cône $abcd$ défini par les ouvertures o_1, o_2 des écrans de plomb E_1 et E_2.

L'électroscope C peut être déchargé seulement par les rayons secondaires qu'excitent les rayons X dans l'espace M limité à $ekgh$, qui est commun aux cônes précédemment définis. C'est dans cet espace qu'est disposé le corps dont il s'agit d'étudier l'émission secondaire.

Lorsque l'*air atmosphérique* est la seule matière qui remplisse l'espace M, la feuille d'or *f*, bien isolée (1) par un support de diélectrine Hurmuzescu DD, présente déjà une légère vitesse de décharge dès qu'on excite le tube à rayons X. L'effet disparaît si l'on dispose sur l'une des fenêtres o_1, o_2, o'_1 ou o'_2, une lame métallique de plomb suffisamment épais. Il est dû à l'*action électrique des rayons secondaires émis par l'air* de l'espace M sous l'influence des rayons X qui le traversent. L'effet est d'ailleurs extrêmement faible par

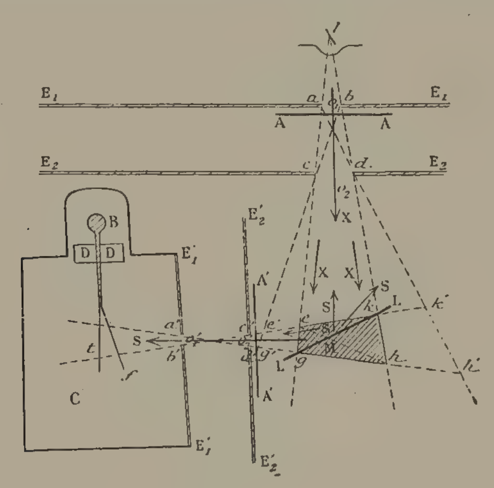


FIGURE 225.

rapport à celui que donnerait directement le faisceau de rayons X, surtout quand le tube focus n'est pas un peu mou et n'émet que des rayons X assez pénétrants. Avec des tubes focus *mous*, on observe très nettement l'émission secondaire de l'air dans divers azimuts, en particulier à angle droit de la direction des rayons X incidents ; la décharge de l'électroscope peut être observée ainsi, même quand le volume M d'air atmosphérique rayonnant est réduit à 1 décimètre cube, par exemple.

Les activités électriques des rayons secondaires émis par divers corps placés successivement en LL se comparent par les inverses des temps *t* nécessaires pour la même décharge (2) entre les mêmes positions de la feuille *f*. Le potentiel de la feuille *f* est généralement de quelques centaines de volts et ne doit être que fort peu réduit pendant la légère décharge observée (3).

(1) L'isolement peut être assez bon pour qu'il soit généralement inutile de tenir compte de la déperdition spontanée de l'électricité.

(2) C'est, *en principe*, la méthode que Righi employait pour mesurer les activités électriques des rayons ultra-violets (*Atti d. R. Accad. di Bologna*, 1888 à 1891) et que Benoist et D. Hurmuzescu, après avoir les premiers, en France, découvert les phénomènes de décharge par les rayons X, ont employée pour étudier comment les actions électriques de ces rayons varient avec la distance, avec la nature du métal qu'ils frappent et la pression du gaz adjacent au conducteur (*Comptes rendus*, t. CXXII, p. 235, 379, 779, 926 ; 1896).

(3) Pour plus de détails, voir : G. SAGNAC, *De l'optique des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui en dérivent*. Paris, Gauthier-Villars, 1900 ; p. 69.

§ 6. — Influence de l'épaisseur. Émissions secondaires antérieure, postérieure et latérale.

L'action électrique des rayons secondaires de l'air, excités par un faisceau de rayons X déterminé *lab* (fig. 225), augmente avec l'épaisseur du volume M d'air traversé par les rayons, et sensiblement en raison directe du volume M intéressé. De même l'action électrique des rayons secondaires de la paraffine, par exemple, croît avec l'épaisseur de la lame de paraffine employée, mais de moins en moins vite, et tend pratiquement vers une valeur limite qu'elle ne dépasse plus quand l'épaisseur croît davantage ; cette épaisseur est ordinairement voisine de 1 centimètre ; elle augmente de plus en plus à mesure que l'on emploie des rayons de plus en plus pénétrants et semble alors croître au delà de toute limite.

La masse tout entière du corps rayonne alors dans tous les sens, comme dans le cas de l'air, aussi bien par la face de sortie des rayons X, pour donner des rayons secondaires postérieurs, que par les faces latérales du bloc de paraffine employé, même si ces faces ne sont pas traversées par des rayons X, et il se produit alors des rayons secondaires latéraux. Pour observer, par exemple, les rayons secondaires postérieurs (1) d'un corps quelconque, il suffit, dans le dispositif de la figure 225 de prendre la lame LL assez mince pour être traversée notablement par les rayons X et de la disposer non plus suivant *gk*, mais suivant *eh*, de manière à tourner la face de sortie des rayons X vers l'électroscope. On peut remplacer l'électroscope par une plaque photographique ou par un écran au platinocyanure de baryum, et la paraffine par une lame transparente d'un corps quelconque ; l'épaisseur de la lame employée doit être d'autant plus faible que le corps est plus opaque ; on emploiera, par exemple, une lame de paraffine de quelques millimètres et, dans les mêmes conditions, une lame d'aluminium de quelques dixièmes de millimètre, une feuille d'or de quelques dixièmes de micron. Si la lame LL renferme un métal lourd qui transforme notablement les rayons X ou bien un des composés d'un tel métal, on n'affaiblit pas sensiblement l'émission des rayons secondaires antérieurs S et l'on augmente progressivement celle des rayons postérieurs S', si l'épaisseur de la lame MM (schéma de la figure 226), d'abord peu inférieure à l'épaisseur *a* qui arrêterait sensiblement le faisceau de rayons X, est diminuée progressivement jusqu'à une certaine épaisseur *e* très inférieure à *a* ; mais si l'épaisseur de la

(1) Depuis la publication des résultats de G. Sagnac, le professeur Dufour, de Lausanne, a réalisé de jolies expériences au sujet de l'émission secondaire latérale des corps très transparents, comme le bois, la paraffine, les huiles, en employant comme récepteur une plaque photographique (*Archives des Sciences phys. et nat. de Genève*, 4e série, t. VIII, p. 370 et 529, 1899). On pourrait sans doute étendre ces expériences à des corps comme l'aluminium et même comme le fer, à condition d'employer des rayons X suffisamment pénétrants.

lame MM descend au-dessous de e, l'émission des rayons S et bientôt celle des rayons S' s'affaiblit, d'abord lentement, puis très vite. C'est dire que chaque élément de matière atteint par les rayons X émet un rayonnement secondaire qui ne traverse pas sensiblement une épaisseur de matière supérieure à e. Si l'épaisseur de la lame LL ne dépasse pas e, chaque élément de matière rayonne à la fois à travers chaque face de la lame. Pour une épaisseur supérieure à e, il y a une couche de matière d'épaisseur e attenant à la face d'entrée des rayons X, qui émet la plus grande partie des rayons secondaires antérieurs S et une couche analogue d'épaisseur comparable, attenant à la face de sortie, qui émet la plus grande partie des rayons postérieurs S' ; les deux couches d'émission ont une partie commune si l'épaisseur de la

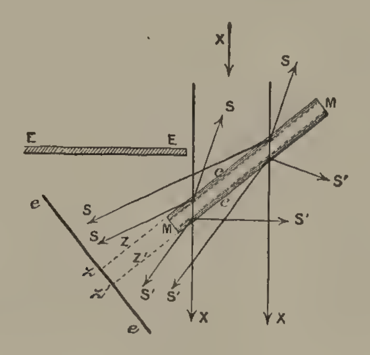


Figure 226.

lame MM est inférieure à $2e$ et sont sensiblement distinctes si cette épaisseur est supérieure à $2e$ (cas de la fig. 226).

Il suit de là que les rayons secondaires postérieurs S' sont excités par des rayons X plus pénétrants que ceux qui excitent les rayons secondaires antérieurs S, car les premiers ont traversé l'épaisseur du corps qui sépare la couche d'émission antérieure et la couche d'émission postérieure. Aussi les rayons secondaires postérieurs sont-ils plus pénétrants que les rayons secondaires antérieurs ; à cette différence près, ils possèdent en général les mêmes propriétés ; on peut dire que les propriétés des rayons secondaires postérieurs S' sont, en général, celles des rayons secondaires antérieurs S produits par le même faisceau de rayons X à condition de filtrer, au préalable, ce faisceau de rayons X à travers une lame d'épaisseur convenable de même substance que la lame MM étudiée ; par exemple, l'épaisseur de leur couche d'émission dépasse, en général, la valeur de celle des rayons secondaires antérieurs, et la différence est d'autant plus grande que la lame MM est plus épaisse. Sauf indication expresse, les résultats qui vont suivre sont relatifs aux rayons secondaires antérieurs.

Il convient d'employer de petits miroirs du métal étudié, ayant quelques centimètres carrés de surface par exemple, assez épais pour arrêter sensiblement tous les rayons X incidents. Dans ces conditions, les divers corps

sont comparés sous des épaisseurs bien supérieures à celles qui déterminent l'activité maximum de leurs rayons secondaires.

§ 7. — Absorption des rayons secondaires par l'air et hétérogénéité des rayons secondaires.

Les rayons secondaires issus de la transformation des rayons X par des métaux tels que le platine, le plomb, le fer, etc., sont absorbés par l'air beaucoup plus que les rayons X dont ils proviennent. G. Sagnac a constaté indirectement cette propriété en étudiant comment l'action radiographique ou l'action électrique des rayons secondaires s'affaiblissent lorsque la distance comprise entre la source des rayons secondaires et la surface de la couche photographique ou l'entrée de l'électroscope va en augmentant. Il a fait aussi des expériences directes en modifiant seulement la pression de l'air qui sépare le métal, source de rayons secondaires, et le récepteur. Par exemple, l'action électrique des rayons secondaires émis par un miroir de platine à travers quelques centimètres d'air raréfié et une mince feuille de collodion était réduite à moins de moitié, quand on laissait la pression de l'air entourant le platine s'élever d'une vingtaine de centimètres. Le platine émet d'ailleurs, comme on va voir, des rayons secondaires encore plus absorbables que ce premier résultat ne semble le montrer.

Les rayons secondaires sont hétérogènes.

L'action électroscopique, radiographique ou radioscopique d'un faisceau de rayons secondaires issu d'un corps quelconque subit, quand le faisceau est transmis par une épaisseur déterminée d'un certain milieu, un affaiblissement d'autant moindre que les milieux supplémentaires déjà traversés par le faisceau sont plus nombreux et plus épais. En particulier, les actions des rayons secondaires transmis par des épaisseurs d'un milieu défini, qui croissent en progression arithmétique, ne vont point en décroissant en progression géométrique, comme il devrait arriver forcément si le faisceau était homogène à la manière d'un faisceau de lumière monochromatique. En s'aidant de l'analogie optique, G. Sagnac exprime ce résultat comme le résultat semblable obtenu par Benoist avec les rayons X, en disant : Le faisceau secondaire étudié dans chaque expérience se comporte comme un mélange de rayons divers inégalement pénétrants ; une série d'écrans successifs *filtrent* ces divers rayons en absorbant surtout les uns et laissant passer surtout les autres, qui forment un faisceau moins actif, plus pénétrant que l'ensemble du faisceau incident et moins hétérogène que ce faisceau.

De même des couches d'air atmosphérique d'égale épaisseur que l'on ajoute successivement entre le métal rayonnant L (fig. 225) et l'électroscope C, en les éloignant l'un de l'autre, sont de plus en plus transparentes.

Dans les expériences sur l'absorption par l'air plus ou moins raréfié, des rentrées successives de masses d'air égales dans l'atmosphère raréfiée qui

entoure le miroir L réduisent de moins en moins l'action électrique des rayons secondaires. Des extractions successives de masses d'air égales augmentent l'action, chacune dans un plus grand rapport que ne le fait la précédente, et ces expériences permettent de conclure que, sous la pression atmosphérique, le premier millimètre d'air adjacent à un métal tel que le platine, le plomb, enlève aux rayons secondaires de ce métal une grande partie de leur activité électrique. L'absorption par l'air est bien moins importante avec les rayons secondaires de l'étain, du fer et du nickel ; dans les mêmes conditions d'expérience, elle peut devenir insensible avec ceux du zinc et du cuivre.

L'énergique filtration par l'air de rayons secondaires tels que ceux du platine, du plomb, permet de comprendre pourquoi les rayons secondaires de tels métaux, lorsqu'ils sont déjà transmis par plusieurs centimètres d'air, sont à peine affaiblis par une mince feuille d'aluminium battu, tandis que la même feuille supprime une grande partie de l'action électrique des rayons secondaires des mêmes métaux qui n'ont pas encore été filtrés par l'air.

Les expériences relatives à l'action radiographique des rayons secondaires fournissent des résultats analogues : Un faisceau de rayons X tombe sur la plus grande partie de la surface d'une plaque photographique *pp* (fig. 227), à l'abri de la lumière, en traverse le verre pour venir impressionner

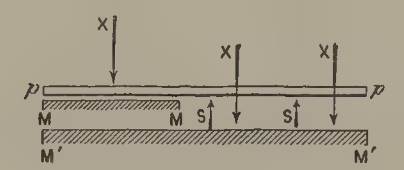


FIGURE 227.

la couche sensible tournée en dessous et *nue*, puis frappe une plaque MM dont les rayons secondaires reviennent sur la couche sensible et l'impressionnent. Pour distinguer la seconde action de la première, il suffit de placer la plaque MM contre la couche sensible *pp ;* si l'on supprime tous les corps, tels que M'M', qui, placés dans le voisinage de la plaque sensible, pourraient lui envoyer aussi des rayons secondaires, l'impression est renforcée au-dessus de la plaque MM, très faiblement si MM est en aluminium, fortement si MM est formé d'un métal qui transforme beaucoup les rayons X ; l'impression due aux rayons secondaires d'un métal est alors comparable à celle qui est due aux rayons X seuls. Dans ces conditions, une bande étroite d'aluminium battu d'épaisseur comparable à un micron seulement interposée entre *pp* et MM, n'affaiblit que très légèrement le renforcement dû aux rayons secondaires du cuivre, du zinc, mais affaiblit notablement celui de l'étain et supprime presque complètement celui du zinc amalgamé, du platine, du plomb.

Si le miroir métallique MM est éloigné au-dessous de la couche sensible de *pp*, l'absorption par l'aluminium battu très mince, qui était si importante à très petite distance pour les rayons du platine, par exemple, diminue très vite dès que l'épaisseur d'air qui sépare MM de la couche sensible dépasse environ 1 millimètre et devient bientôt insignifiante. En même temps, le renforcement dû aux rayons secondaires du métal diminue assez peu pour le cuivre, le zinc, notablement pour l'étain et surtout le platine, le plomb ; on suit la variation de l'action du miroir, en comparant sur une même plaque sensible *pp*, comme le montre la figure 227, le renforcement dû à MM placé assez près de *pp* et le renforcement dû à un miroir M'M' de même matière placé plus loin de la couche sensible ; on remplace la bande d'aluminium battu très mince par une bande d'aluminium d'épaisseur de 1/10e de millimètre ou davantage, placée contre la couche sensible de *pp ;* au développement, la trace de cette bande apparaît sous forme d'une région moins impressionnée et cette trace est bien plus accusée sur la région de *pp* située au-dessus de MM que sur la région moins impressionnée, soumise à l'action des rayons secondaires de M'M' ; l'aluminium, sans agir notablement par son propre rayonnement secondaire, arrête les rayons secondaires de M'M' bien moins que ceux de MM, si le métal de ces deux plaques est de l'étain, du platine, du plomb, etc. ; l'action des rayons du miroir M'M' est alors plus faible que celle du miroir MM, et cette influence de la distance parcourue par les rayons secondaires est bien plus grande pour le platine, le plomb que pour le zinc, le cuivre, par exemple ; cette différence s'explique bien par l'absorption par l'air.

L'expérience de la figure 227 est refaite dans une cloche où les rayons X entrent à travers une paroi d'ébonite et où l'air est dans une première expérience à la pression atmosphérique, dans la seconde à la pression de 1 centimètre de mercure. L'influence de la distance diminue de la première expérience à la seconde pour des métaux tels que le platine, le plomb ; elle n'est guère modifiée pour le cuivre, le zinc.

L'influence de la distance se voit plus rapidement en inclinant une plaque sensible *pp'* (fig. 228) d'un petit angle sur une plaque MM de

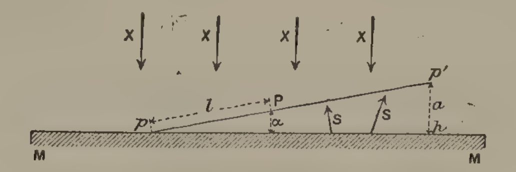


FIGURE 228.

métal, par exemple. L'impression des rayons X en chaque point P de la couche sensible nue tournée vers MM est renforcée par l'impression due aux rayons secondaires S que le métal MM envoie en P à travers une épaisseur d'air dont la valeur moyenne α croît lentement de o à h propor-

tionnellement à la distance l du point P au bord p de la couche sensible qui touche MM. Une bande étroite découpée dans une feuille d'aluminium plus ou moins mince est disposée perpendiculairement au bord p en contact avec la couche sensible jusque près de p'. Le cliché obtenu après développement montre, près de l'arête p du coin d'air traversé par les rayons secondaires, une zone de renforcement maximum de l'action des rayons X ; cette zone, peu accusée avec le cuivre, le zinc, est très nette avec le platine, le plomb, et sa limite correspond à une épaisseur d'air d'environ 1 millimètre.

Il est intéressant d'observer la zone de renforcement non plus au bord p, mais au milieu même de la plaque, en remplaçant le miroir plan MM par un miroir cylindrique dont la surface est convexe et placée contre la couche sensible ; la zone de renforcement maximum se produit alors le long de la génératrice de contact de la couche sensible et du miroir. Avec les deux dispositifs, on constate que la zone de renforcement maximum produite par le platine, par exemple, est sensiblement effacée là où elle croise une bande d'aluminium d'épaisseur comparable au micron, que l'on a disposée contre la surface de la couche sensible entre cette surface et celle du platine ; la trace de la bande d'aluminium mince passe, au contraire, inaperçue en dehors de cette région.

Ces diverses expériences radiographiques ou électroscopiques de G. Sagnac s'accordent ainsi à montrer que les rayons secondaires sont très hétérogènes ; les différents milieux qu'ils traversent les filtrent en ne laissant passer que les rayons les plus pénétrants. Les différents rayons secondaires émis simultanément par un même corps présentent une échelle de pouvoirs de pénétration divers, particulièrement étendue pour les éléments comme le fer, le nickel, l'étain et surtout le platine, le plomb. Les rayons les moins pénétrants des faisceaux émis par le platine, le plomb, sont très affaiblis par une épaisseur d'aluminium de l'ordre du micron, par une épaisseur d'air de l'ordre du millimètre, par une feuille de papier noir ; ils produisent à eux seuls une grande partie de l'action électrique ou radiographique des rayons secondaires de ces éléments ; de telles épaisseurs d'aluminium ou d'air affaiblissent, au contraire, très peu l'action électrique ou radiographique des rayons du zinc ou du cuivre. Une fois dépouillés de cette partie la plus absorbable et la plus active, les rayons secondaires sont plus pénétrants, moins actifs et continuent à s'affaiblir en traversant, par exemple, les millimètres d'air suivants ; comme nous avons vu pour les rayons du fer, ils s'affaiblissent encore parfois notablement dans les centimètres d'air suivants ; ils deviennent graduellement aussi pénétrants que les rayons X qui les ont produits. On comprend très bien que cet affaiblissement par transmission dans l'air, le papier noir, l'aluminium, etc., s'exerçant très inégalement sur les faisceaux secondaires émis par divers corps sous l'influence du même faisceau de rayons X, l'ordre de divers corps au point de vue de leur activité secondaire puisse être bouleversé d'une expérience à l'autre. Ainsi l'action radiographique du plomb, au moins égale à celle du cuivre tant que le métal MM est

placé contre la couche sensible nue (fig. 227), lui devient considérablement inférieure quand la couche sensible est recouverte de papier noir ou d'aluminium mince. Les expériences de ce genre peuvent être regardées comme un moyen d'étudier la composition des divers faisceaux secondaires.

§ 8. — Étude électrique de la transformation des rayons par les différents corps.

Le dispositif déjà décrit de la figure 229 a permis à G. Sagnac de reconnaître avec précision que les rayons secondaires pénétrant dans la cage C de l'électroscope proviennent d'une *transformation* des rayons X qui a altéré leur pouvoir de pénétration, et de distinguer par un nombre le changement de pouvoir de pénétration dû à la transformation seule, indépendamment de la complexité des faisceaux étudiés. Il suffit d'appliquer les mesures de vitesse de décharge à la méthode déjà décrite qualitativement.

Soit t la durée d'une certaine action de décharge des rayons secondaires émis par la plaque LL quand une certaine lame A d'aluminium, d'ébonite, de mica ou de paraffine est placée en AA sur le trajet des rayons X incidents.

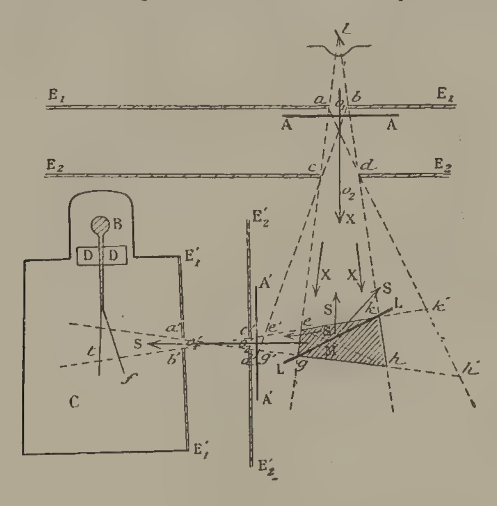


Figure 229.

On transporte cette lame de AA en A'A' contre l'ouverture $c'd'$, sur le trajet des rayons secondaires de LL, et l'on mesure la durée t' nécessaire pour la même décharge. Le dispositif est tel que les rayons X et les rayons secondaires S ont été successivement filtrés par la même lame A sous une même épaisseur, très peu différente de l'épaisseur normale. Les deux durées t et t' devraient être égales si les rayons S étaient des rayons X diffusés sans changement de pouvoir de pénétration, sans transformation. Or l'expérience montre que t' n'est jamais inférieur à t et qu'il lui est généralement supérieur, c'est-à-dire que *les rayons* S *proviennent d'une transformation qui a*

diminué le pouvoir de pénétration des rayons X générateurs. Le coefficient $c = \frac{t'}{t} - 1$ distingue le degré de transformation des rayons S que la plaque LL envoie dans l'électroscope C ; on peut convenir de l'appeler : *coefficient de transformation.* Voici un exemple relatif aux rayons secondaires qu'un miroir de nickel de 4 centimètres carrés de surface exposé aux rayons X envoyait dans un électroscope à travers une mince feuille d'aluminium battu et la couche d'air de 7 centimètres d'épaisseur qui le séparait de cette paroi. La lame A était une lame d'aluminium de $0^{mm},11$ d'épaisseur. Pour la position AA de cette lame, une certaine décharge se faisait sous l'influence des rayons secondaires du nickel dans le temps $t = 10,3$ secondes ; pour la position A'A', la même décharge par les rayons secondaires exigeait la durée $t' = 42$ secondes ; puis, la lame A étant replacée en AA, on avait de nouveau $t = 10,3$ secondes ; cette dernière mesure était nécessaire pour s'assurer que l'intensité ou la nature des rayons X émis par le tube focus n'avaient pas varié sensiblement. Le coefficient de transformation des rayons S reçus par l'électroscope dans cette expérience était $c = 2,1$. D'une manière générale, la valeur de c ne dépend pas de l'intensité absolue des rayons X, mais seulement de leur nature.

En même temps que les durées t et t', on peut déterminer la durée t_0 nécessaire pour produire la même décharge avec les rayons S, mais la lame A n'étant plus placée en AA sur le trajet des rayons X, ni en A'A' sur le trajet des rayons S. L'action des rayons S, mesurée par $\frac{1}{t_0}$ en l'absence de la lame A, est mesurée par $\frac{1}{t'}$ quand les rayons S traversent la lame A placée en A'A'. On peut donc appeler *coefficient de transmission* des rayons S à travers la lame A l'expression $\gamma_s = \frac{t_0}{t'}$, qui est le rapport de l'action $\frac{1}{t'}$ des rayons S transmis par A à l'action $\frac{1}{t_0}$ des mêmes rayons non transmis. De la même manière, on voit que, si l'émission secondaire était une simple diffusion sans changement de pouvoir de pénétration, le rapport $\Gamma = \frac{t_0}{t}$ serait le coefficient de transmission de l'ensemble des rayons X ainsi diffusés. Le fait que c est supérieur à zéro signifie que γ_s est inférieur à Γ et caractérise le changement de pouvoir de pénétration des rayons par suite de la transformation seule, quelle que soit la complexité des faisceaux de rayons X et de rayons secondaires étudiés.

Les déterminations de c et de γ montrent que le degré de transformation défini par c va en augmentant et le pouvoir de pénétration défini par γ_s va en diminuant à mesure que l'on opère sur des rayons secondaires de moins en moins filtrés par l'air ou les divers milieux qui séparent le corps rayonnant LL et la paroi interne de l'électroscope. Par exemple, le miroir de nickel

déjà employé pour l'expérience indiquée plus haut envoyait ses rayons secondaires à 7 centimètres de distance encore, mais à travers une paroi d'aluminium de $0^{mm},11$ placée en $c'd'$. On avait alors $c = 7,7$ et $\gamma_s = 0,047$ en employant comme lame filtrante, placée successivement en AA puis en A'A', une lame d'aluminium d'épaisseur $0^{mm},3$. Si l'on recommençait les mêmes déterminations après avoir enlevé la lame d'aluminium de $0^{mm},11$ qui se trouvait auparavant sur le trajet des rayons secondaires, le coefficient de transformation, déterminé à l'aide de la même lame d'aluminium de $0^{mm},3$, s'élevait à 30 et le coefficient de transmission des rayons secondaires à travers la même lame s'abaissait à 0,028. Si l'on diminuait l'épaisseur d'air traversée par les rayons secondaires, c continuait à augmenter et γ à diminuer, c'est-à-dire que les premières épaisseurs d'air, d'aluminium, etc., traversées par les rayons secondaires, arrêtent les rayons secondaires les plus transformés et les moins pénétrants. Les rayons X employés dans les expériences qui viennent d'être citées, étant reçus directement dans l'électroscope, présentaient un coefficient de transmission γ_x de 0,39 à travers la lame d'aluminium d'épaisseur $0^{mm},3$ déjà employée ; pour avoir une idée de leur hétérogénéité, il convient de dire que ce coefficient de transmission à travers la même lame s'élevait à 0,52 lorsque le faisceau était déjà filtré par $0^{mm},17$ d'aluminium. L'hétérogénéité d'un faisceau secondaire n'est pas indépendante de celle du faisceau de rayons X excitateurs.

Parmi les rayons X d'un faisceau issu d'un tube focus, ceux qui excitent le plus l'émission secondaire sont les rayons relativement pénétrants que laisse passer, par exemple, une lame d'aluminium ; le coefficient Γ, défini par le rapport suivant lequel est réduite l'action électrique des rayons secondaires quand on filtre les rayons X par une certaine lame A, est supérieur au coefficient de réduction de l'action électrique directe des rayons X dans les mêmes conditions, c'est-à-dire au coefficient de transmission γ_x de l'action électrique des rayons X à travers la même lame A. Ainsi dans l'exemple relatif au nickel, où l'on avait $\gamma_s = 0,028$, on avait $\Gamma = 0,9$ et $\gamma_x = 0,39$. Le fait que Γ est supérieur à γ_x se présente aussi bien pour les corps qui transforment beaucoup, comme le nickel dans l'exemple précédent, que pour ceux qui ne transforment pas notablement les rayons X.

A l'observation précédente se rattache le fait suivant : dans la décharge d'un condensateur dont une armature frappée par les rayons X est formée d'un métal lourd, la part de l'effet des rayons secondaires dans la décharge du condensateur augmente si les rayons X incidents sont filtrés par une lame d'aluminium, par exemple. De même, dans les expériences radiographiques de la figure 227, le renforcement de l'action, produit par les rayons secondaires de la lame MM sur la plaque *pp* impressionnée en même temps par les rayons X, est d'autant plus visible que le verre de la plaque *pp* traversé par les rayons X avant la couche sensible est lui-même plus épais.

Les coefficients de transformation c obtenus pour différents corps dans les mêmes conditions, en particulier avec un même faisceau de

rayons X et une même lame filtrante A, permettent de comparer les degrés de transformations des rayons secondaires que ces différents corps envoient dans l'électroscope. Les rayons secondaires reçus par l'électroscope sont dépouillés, par l'air et les divers milieux traversés avant d'atteindre la face interne de l'électroscope, de leur partie la plus absorbable et la plus transformée, et cette absorption élective est surtout importante pour les rayons de métaux tels que le plomb, le platine. Aussi, quand les métaux comparés rayonnent à une distance suffisante dans l'air, les rayons du plomb et du platine reçus par l'électroscope sont-ils beaucoup moins transformés et plus pénétrants que ceux du zinc, du cuivre, par exemple. Mais quand on diminue graduellement l'épaisseur d'air traversée par les rayons, le platine envoie dans l'électroscope des rayons de moins en moins pénétrants dont le coefficient de transformation dépasse bientôt considérablement ceux du zinc, du cuivre. G. Sagnac a toujours constaté que, si un métal dépassait ainsi un autre métal, l'ordre de ces deux métaux ne changeait plus quand l'épaisseur d'air traversée diminuait encore, ni quand on remplaçait la feuille d'aluminium battu $a'b'$ (fig. 225) par une toile métallique. Il a ainsi trouvé pour un certain nombre de métaux un *ordre limite* des coefficients de transformation décroissants, pour des épaisseurs d'air de plus en plus petites traversées par les rayons secondaires. Pour les métaux étudiés, cet ordre limite coïncide avec l'ordre limite des activités électriques décroissantes. C'est à la fois l'ordre limite des pouvoirs de pénétration croissants et des coefficients de transformation décroissants ; ainsi quand on emploie la méthode du condensateur et qu'on dispose sur l'armature frappée par les rayons une feuille mince d'aluminium, on réduit beaucoup la vitesse de décharge du condensateur si cette armature est en platine ou en plomb, moins si elle est en fer ou nickel, et moins encore si elle est en zinc, en cuivre. En résumé, les métaux qui transforment le plus profondément les rayons X émettent les rayons secondaires les plus absorbables et les plus actifs.

Les éléments qui transforment notablement les rayons X communiquent cette propriété aux mélanges ou aux composés qui en renferment sans que l'état physique ni l'état de combinaison paraissent influer notablement. Ainsi l'oxyde de cuivre CuO et l'oxyde de nickel NiO, à l'état pulvérulent, transforment les rayons X, moins toutefois que les métaux cuivre et nickel, ce qui peut s'expliquer par l'absorption que les rayons émis par le cuivre et le zinc éprouvent de la part de l'oxygène combiné au métal et relativement très peu actif. D'ailleurs le nickel, plus actif que le cuivre, communique à son oxyde un pouvoir de transformation et une activité plus grande que ceux de l'oxyde de cuivre. Il en résulte que l'activité d'un mélange ou d'un composé n'est pas en relation générale avec sa densité. Par exemple, l'azotate d'urane, grâce à l'uranium (1) qu'il renferme, est bien plus actif que l'alu-

(1) L'uranium n'agit pas sensiblement ici par ses rayons de Becquerel parce que ses rayons secondaires sont rendus facilement beaucoup plus actifs que ses rayons de Becquerel.

minium, et cependant sa densité 2,8 diffère peu de la densité 2,7 de l'aluminium. Les corps très légers sont, il est vrai, souvent très peu actifs et n'émettent que des rayons secondaires sensiblement aussi pénétrants que les rayons X générateurs. Mais cette remarque n'est vraie que pour des corps, comme la paraffine, qui renferment seulement dans leur composition des éléments très peu actifs, encore faut-il prendre garde à des traces d'impuretés très actives enfermées dans un corps par lui-même très peu actif tant qu'il est pur. La propriété d'*activité secondaire* se présente donc surtout comme une *qualité atomique* qui, pour les sept éléments ci-après, décroît dans l'ordre indiqué :

	Pt	Sn	Ni et	Fe	Zn	Cu	Al
Poids atomique . . .	194	118	58,7	56,0	65	63,3	27
Densité	21,5	7,3	8,9	7,9	7,1	8,9	2,6

On voit que l'étain est plus actif que le fer et le cuivre, bien qu'étant plus léger ; de même, le fer et le zinc passent avant le cuivre. D'autre part, le nickel et le fer sont nettement plus actifs que le zinc et le cuivre, qui ont des poids atomiques plus élevés. Mais le nickel et le fer, qui ont des propriétés chimiques voisines et sont considérés comme éléments *analogues*, ont des activités secondaires sensiblement égales.

§ 9. — Application de l'étude des rayons secondaires à la chimie.

L'ordre limite d'activité secondaire, que G. Sagnac a défini pour quelques éléments, permettra de faire une comparaison de l'ensemble des éléments chimiques d'après un nouveau caractère spécifique. Cette comparaison semble dès à présent dépendre, comme la *classification chimique* naturelle de J.-B. Dumas et de Mendeleef, des analogies chimiques aussi bien que de la grandeur du poids atomique.

L'activité électrique secondaire permet, d'autre part, de rechercher une petite proportion d'un élément assez actif disséminé dans un corps relativement peu actif par lui-même.

Des mesures successives permettent de déceler nettement 0,1 p. 100 de cuivre ajouté à un aluminium, et il est évident qu'on irait beaucoup plus loin en employant une méthode d'opposition ou si le métal recherché était plus actif que le cuivre. En ce qui concerne l'aluminium, la grande importance des petites quantités de cuivre, fer, etc., qu'il peut renfermer rend impossible d'attribuer des valeurs précises aux diverses propriétés des rayons secondaires qu'il émet, tant que l'on ne possédera pas un échantillon très pur de ce métal. L'invariabilité de l'activité secondaire dans des conditions déterminées sera l'un des caractères à exiger d'un corps pur.

De là aussi une méthode pour rechercher de petites quantités d'un élément soit déjà bien connu, soit non encore isolé ou tout à fait nouveau, à

la condition seulement que l'élément recherché soit notablement plus actif que le corps dans lequel il est disséminé. Cette méthode serait analogue à la méthode remarquable qui a permis à M. et à Mme Curie de reconnaître de très petites quantités d'un élément nouveau *spontanément* actif, comme le polonium et le radium dans les minerais d'urane et de thorium. Elle serait généralement moins sensible ; d'un autre côté, elle serait applicable à un plus grand nombre de cas, puisque la plupart des métaux lourds présentent un très notable pouvoir de transformation et une émission secondaire très active électriquement et très variable, suivant les éléments considérés.

CHAPITRE III

ÉTUDE DE L'ABSORPTION ET DES ACTIONS ÉLECTRIQUES DES RAYONS X

§ 1. — Variations apparentes de la transparence dues à l'action des rayons secondaires (1).

La position d'un corps influe sur sa transparence apparente pour les rayons X. Le coefficient de transmission que présente, pour les rayons X, une épaisseur déterminée d'un corps doit être mesuré en plaçant le récepteur (électroscope ou plaque photographique) assez loin du corps pour que les rayons secondaires postérieurs disséminés au delà de ce corps ne puissent pas atteindre le récepteur. Sans cette précaution, la mesure pourrait n'avoir aucun sens. Il ne faut pas oublier, en effet, que l'action électrique ou photographique des rayons secondaires peut atteindre et dépasser celle des rayons X eux-mêmes. Or les rayons X transmis par un corps se trouvent mélangés à des rayons secondaires *postérieurs* qui émergent du corps par la face de sortie des rayons X. L'action électrique ou photographique de ces rayons secondaires peut compenser, et même au delà, l'affaiblissement des rayons X dû à l'absorption réelle, de manière que l'action des rayons X transmis peut sembler avoir augmenté par l'effet de la transmission.

Cette influence de la distance est inégale d'un corps à un autre. L'absorption des rayons secondaires par l'air joue un rôle important quand le corps dont on étudie la transparence est une feuille d'un métal tel que l'or, le platine, qui transforme très profondément les rayons X.

L'influence de la position d'un écran sur sa transparence apparente s'observe bien aussi, quand on emploie comme récepteur une plaque photographique dont la couche sensible est nue du côté de l'écran étudié, surtout si les rayons X employés sont assez pénétrants.

Si l'écran étudié est, par exemple, une lame d'aluminium, d'ébonite, de

(1) G. Sagnac, *De l'Optique des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui en dérivent*, p. 110, 113. Paris, Gauthier-Villars, 1900.

paraffine, l'action électrique ou radiographique des rayons secondaires postérieurs est, comme celle des rayons secondaires antérieurs, assez faible vis-à-vis de celle des rayons X incidents pour passer en général inaperçue, surtout si le faisceau incident est assez peu pénétrant.

Si le récepteur employé, au lieu d'un électroscope ou d'une plaque photographique, est un écran luminescent au platino-cyanure de baryum, l'action des rayons secondaires postérieurs comme celle des rayons secondaires antérieurs, devient faible vis-à-vis de celle des rayons X, même si le corps étudié émet des rayons secondaires très transformés, comme le platine. Aussi le phénomène est-il bien plus difficile à voir, surtout si le corps étudié est un corps très transparent, à émission secondaire relativement faible, comme la paraffine, l'ébonite, l'aluminium (1).

L'ordre d'un système de corps influe sur la transparence apparente du système pour les rayons X. Avec le dispositif de la figure 225, une lame L étant disposée suivant *eh* de manière à envoyer dans l'électroscope C des rayons secondaires postérieurs, on peut répéter l'expérience, qui démontre la transformation des rayons X : une lame d'aluminium, d'ébonite ou de paraffine, placée en A'A', affaiblit l'action des rayons secondaires, par exemple, du zinc, plus que si elle était placée en AA sur le trajet des rayons X incidents. Une démonstration plus simple de la transformation peut être donnée ici : on applique la lame A (ébonite, par exemple) contre la lame L (zinc) disposée en *eh*, d'abord en plaçant A en avant de L vers le tube focus, puis en arrière vers l'électroscope ; cela revient à étudier l'émission secondaire postérieure du système des deux lames disposées d'abord dans l'ordre AL, puis dans l'ordre LA. On constate que le système émet des rayons secondaires plus actifs quand il est traversé par les rayons X dans l'ordre AL que s'il est traversé dans l'ordre inverse LA ; dans l'ordre LA la lame A affaiblit beaucoup les rayons secondaires postérieurs de L, qui sont les plus actifs ; les rayons secondaires postérieurs de la lame A supposée en aluminium, ébonite ou paraffine, par exemple, sont relativement très faibles ; aussi l'influence de l'ordre d'un système d'écrans, tels que aluminium et fer, aluminium et zinc, sur l'émission secondaire postérieure du système, est-elle très grande et peu différente de celle qu'on observait en disposant la lame A en AA, puis en A'A'. Si les deux lames A et L transforment toutes deux notablement les rayons X, mais émettent des rayons secondaires inégalement pénétrants, l'ordre des deux lames peut influer encore sur l'émission secondaire postérieure du système.

Soit maintenant l'électroscope déplacé de manière à recevoir directement le faisceau des rayons X transmis en ligne droite à travers un système de deux lames de matières différentes ; il reçoit en même temps des rayons

(1) D'après cela, il ne faut pas s'étonner que l'influence de la distance d'une lame d'aluminium à un écran luminescent au platino-cyanure de baryum ait paru au professeur Röntgen sans influence appréciable sur la transparence apparente de cette lame (Röntgen, 3e Mémoire).

secondaires postérieurs émis par ce système et l'activité de ces rayons secondaires dépend, en général, à la fois de la distance de l'électroscope au système et de l'ordre des écrans du système ; la transparence apparente du système en dépend donc aussi et d'autant plus que la distance entre ce système et l'électroscope est elle-même plus faible. Voici, par exemple, un résultat obtenu avec le système formé d'une lame L de zinc de 1/20 de millimètre et une lame A d'aluminium de $0^{mm},55$; l'action du faisceau de rayons X employé sur l'électroscope était réduite au 1/10 de sa valeur quand on interposait sur ce faisceau la feuille de zinc assez loin de l'électroscope pour ne pas lui envoyer de rayons secondaires. La double lame fermant l'électroscope, l'action de décharge observée quand le zinc formait la paroi interne de l'électroscope (ordre AL) était 1,73 fois aussi grande que lorsqu'il formait la paroi externe (ordre LA).

L'influence de l'ordre d'un système d'écrans sur l'émission secondaire du système s'observe aussi très bien en recevant les rayons secondaires postérieurs S′ sur une plaque photographique ou bien sur un écran au platinocyanure de baryum disposé en *ee* (fig. 230) et protégé par un écran de

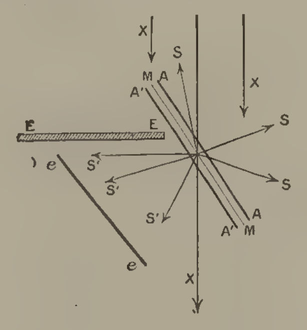


Figure 230.

plomb EE contre l'action directe des rayons X. Si MM est une feuille de zinc, par exemple, l'impression radiographique ou la luminescence de l'écran sont nettement plus vives lorsqu'une lame d'aluminium est disposée en A′A′ que si elle est disposée en AA ; un dispositif photométrique permettant la comparaison des deux actions simultanées n'est même pas nécessaire pour s'assurer de l'existence du phénomène.

Si les rayons X agissent en même temps que les rayons secondaires postérieurs, l'influence de l'ordre des deux lames sur la transparence apparente

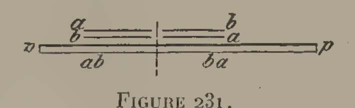


Figure 231.

du système se voit encore facilement en disposant sur la couche sensible *nue* d'une plaque photographique *pp* (fig. 231) un système de deux feuilles

a, *b* et, à côté, le système *b*, *a* identique, mais d'ordre inverse ; les plages contiguës *ab* et *ba* de la plaque sensible sont inégalement impressionnées. Le système zinc-papier noir, par exemple, paraît nettement plus opaque que le système papier-noir zinc. L'influence de l'ordre des écrans ne disparaît pas sous une feuille d'aluminium battue placée entre la couche sensible et les systèmes *ab*, *ba ;* mais elle est atténuée, comme on s'en assure en comparant la partie des deux systèmes recouverte par la feuille d'aluminium et la partie non recouverte ; l'influence de l'ordre des écrans diminue de plus en plus à mesure que l'épaisseur de la feuille d'aluminium interposée augmente. L'influence de l'ordre des écrans sur la transparence apparente est moins nette quand la plaque photographique est remplacée par un écran au platino-cyanure de baryum derrière lequel on applique les systèmes étudiés *ba* et *ab*. L'action des rayons secondaires est alors presque noyée dans l'action des rayons X, comme il a été déjà dit au sujet de l'influence de la distance d'un écran sur sa transparence apparente.

§ 2. — **Étude de la transparence des différents corps.**

L. Benoist, à qui l'on doit les résultats les plus complets au sujet de la transparence des divers corps pour les rayons X, s'est mis à l'abri de l'influence perturbatrice des rayons secondaires qui vient d'être signalée. Les résultats suivants ont été obtenus par lui au moyen de la méthode de l'écran fluorescent convenablement perfectionnée ; ils sont relatifs à la transparence de la plus grande partie des corps simples et d'un grand nombre de leurs composés.

Chaque corps a été caractérisé par son *équivalent de transparence*, que L. Benoist définit de la façon suivante : il compare les divers corps à une certaine épaisseur de l'un d'eux pris comme étalon, par exemple à une épaisseur de *paraffine* de 75 millimètres (l'étalon étant choisi de préférence parmi les corps les plus transparents), et il cherche l'épaisseur *e* de chaque corps qui produit sur un écran fluorescent au platino-cyanure de baryum une ombre identique à l'ombre contiguë produite par l'épaisseur de paraffine de 75 millimètres. La masse, en décigrammes, du cylindre de ce corps ayant pour hauteur cette épaisseur *e*, et pour base 1 centimètre carré, est ce qu'il prend pour valeur E de l'équivalent de transparence du corps considéré.

Ce nombre E a donc une valeur *relative* puisqu'il résulte de la comparaison du corps à un étalon arbitrairement choisi comme substance et comme épaisseur. La valeur E est également relative à l'écran fluorescent employé, théoriquement du moins, car en pratique cette valeur peut être considérée comme constante quel que soit l'écran, et même quand on substitue la plaque radiographique à l'écran fluorescent. Enfin, elle est relative aux rayons X utilisés, plus ou moins pénétrants, comme on sait, suivant l'état, la nature,

et le mode d'excitation de l'ampoule cathodique d'où ils émanent. Mais cette relativité est précisément ce qui a permis à L. Benoist de différencier les rayons X, et de caractériser d'une façon précise l'état d'un tube radiogène.

L. Benoist, dans une succession méthodique de mesures a fait varier un à un les différents facteurs qui peuvent modifier les équivalents de transparence des corps vis-à-vis de l'étalon choisi ; puis il a fait varier à son tour cette masse-étalon (1). Les résultats ainsi obtenus permettent de préciser ceux qui ont déjà été indiqués ici au commencement de l'étude des propriétés générales des rayons X (chap. I[er], § 2, p. 350).

Voici les principales lois qu'il a pu formuler :

1° *L'opacité spécifique d'un corps* (représentée par l'inverse de son équivalent de transparence) *est indépendante de l'état physique de ce corps.* En un mot, la même masse d'un corps absorbe la même proportion d'une même qualité de rayons X, que cette masse soit à l'état solide, à l'état liquide ou à l'état gazeux.

Par exemple, l'eau et la glace ont le même équivalent de transparence ; de même, le brome liquide et sa vapeur, l'iode solide et sa vapeur, etc. ;

2° *L'opacité spécifique est indépendante de tous modes de groupements moléculaires ou atomiques*, c'est-à-dire des formes cristallines, des états allotropiques, des condensations moléculaires qui déterminent la polymérie.

Elle est la même, par exemple, pour l'alumine anhydre et amorphe et le corindon, pour les diverses formes de carbone, soit cristallisé, soit amorphe, pour le phosphore jaune et le phosphore rouge, enfin pour des composés isomères ou polymères, tels que :

Aldéhyde benzylique	C^7H^6O,	qui donne $E = 61$ dg ;
Benzoïne . . . . , ...	$C^{14}H^{12}O^2$,	qui donne $E = 60^{dg},5$;

3° *L'opacité spécifique est indépendante de l'état de liberté ou de combinaison des atomes*, et l'équivalent de transparence d'un *mélange* ou d'une *combinaison* peut se calculer au moyen des équivalents de transparence de leurs éléments constitutifs. Autrement dit, l'*opacité spécifique de la matière est une propriété additive, et essentiellement atomique.*

En ce qui concerne les corps simples, à l'étude desquels la loi précédente ramène le cas des mélanges ou des combinaisons, L. Benoist a déterminé les équivalents de transparence de la plupart d'entre eux. En portant en *abscisses* les *poids atomiques* de différents corps simples, et en *ordonnées* leurs *équivalents de transparence*, il obtient la *courbe d'iso-transparence*

(1) L. Benoist, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 18 janvier 1897 ; 11 février 1901 ; 4 et 25 mars 1901. Les premiers après Röntgen, L. Benoist et D. Hurmuzescu avaient étudié la transparence des divers corps *(C. R. Ac. Sc.*, 3 et 17 février 1896). Ils employaient leur méthode de l'électroscope, il est vrai sans tenir compte de l'influence des rayons secondaires encore ignorée à cette époque.

des corps simples, pour la qualité de rayons X employée et pour la masse-étalon choisie. Cette courbe, d'allure hyperbolique, paraît s'éloigner d'autant plus d'une hyperbole équilatère que les rayons X employés sont *plus mous*, autrement dit *moins pénétrants*.

L. Benoist a pu énoncer la loi suivante : 4° *L'opacité spécifique des corps simples est une fonction déterminée de leur poids atomique, pour chaque espèce de rayons X* ; cette opacité croît généralement avec le poids atomique, et pour des rayons X suffisamment pénétrants et suffisamment homogènes, elle lui devient sensiblement proportionnelle (1).

Lorsque les rayons X sont de plus en plus absorbables, ce que l'on obtient en général en faisant rentrer graduellement des gaz dans l'intérieur de l'ampoule cathodique qui émet les rayons, les courbes d'isotransparence se déforment tout en s'abaissant; le passage d'une courbe à l'autre ne se fait pas par déplacements proportionnels pour les différents corps, ce qui démontre et mesure l'absorption élective, variable d'un corps à l'autre, découverte dès 1896 par L. Benoist et D. Hurmuzescu. C'est ainsi que l'opacité du chrome, comparée à celle de la paraffine, peut varier dans le rapport de 1 à 10 à mesure que les rayons X deviennent plus absorbables. La variation est plus ou moins rapide selon la région de la courbe, c'est-à-dire que l'absorption élective est elle-même fonction du poids atomique.

On voit, d'après ces courbes, que l'aluminium, dont le poids atomique est seulement 27, est un des métaux les plus transparents ; il est cependant moins transparent que le magnésium, dont le poids atomique n'est que 24, encore moins que le carbone pur, graphite pur ou diamant, dont le poids atomique est 12, et enfin et surtout, que le lithium, dont le poids atomique est seulement 7. C'est parce que le cristal de roche ou quartz ne renferme que des éléments (oxygène et silicium) de poids atomiques notablement supérieurs à celui du carbone, que les faux diamants taillés dans du quartz sont beaucoup moins transparents que les diamants vrais, comme l'observa Buguet en 1896 ; la différence est encore plus grande entre les vrais diamants et leurs imitations en strass, verre à base de plomb, dont l'opacité est énorme, le poids atomique du plomb étant 207.

La relation fondamentale qui existe entre le poids atomique des corps simples et leur transparence aux rayons X, est suffisamment bien définie par les expériences de L. Benoist pour qu'il ait pu en faire la base d'une nouvelle méthode de détermination ou de vérification des poids atomiques, et démontrer par exemple que le poids atomique de l'indium doit, d'après la transparence de ce métal ainsi que d'après celle de ses composés, être 113,4 et non 75,6, comme on pouvait le croire auparavant (2) ; et ce résultat se trouve d'accord avec des déterminations chimiques récentes.

(1) Cela équivaut à dire que les épaisseurs, sous lesquelles différents éléments se montrent également transparents, sont, pour des rayons très pénétrants, inversement proportionnelles au produit de la densité par le poids atomique de chaque élément.

(2) L. Benoist, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 25 mars 1901.

§ 3. — Applications de l'étude de la transparence à la radioscopie et à la radiographie (1).

1° Désignation précise des diverses qualités de rayons X. — L. Benoist s'est servi des résultats précédents pour substituer l'indication de caractères numériques précis aux dénominations assez vagues de rayons mous ou de rayons durs, de rayons très absorbables ou de rayons très pénétrants, employées jusqu'ici pour désigner les diverses qualités de rayons X.

La masse-étalon étant une fois choisie, à chaque qualité de rayons X correspond en effet une courbe spéciale d'isotransparence, ou, ce qui revient au même, une liste déterminée de valeurs des équivalents de transparence des corps simples. La forme des courbes d'isotransparence permettant d'ailleurs de définir chacune d'elles par un petit nombre de points, tout revient, le plus souvent, à déterminer les équivalents de transparence de deux ou trois corps simples pour la qualité de rayons X qu'il s'agit de définir. (La même méthode est d'ailleurs applicable également à la définition des rayons secondaires.)

Par exemple, en comparant toujours à l'étalon de paraffine de 75 millimètres de hauteur trois corps simples, aluminium, soufre et cuivre, on obtient deux séries de valeurs telles que les suivantes, pour caractériser deux états différents d'une même ampoule radiogène, amenée successivement à donner des rayons durs et des rayons mous :

	ÉQUIVALENTS DE TRANSPARENCE	
	Rayons durs	Rayons mous
Aluminium.	$20^{dg},5$	$8^{dg},2$
Soufre	11, 3	5 »
Cuivre	2, 4	1 »

L'état du tube et la qualité des rayons X qu il fournit sont ainsi caractérisés chaque fois par un signalement numérique précis.

Radiochromomètre. — C'est un petit appareil très simple que L. Benoist a destiné à définir instantanément, d'après les principes précédents, les diverses qualités de rayons X employés soit en radioscopie, soit en radiographie. Le nom choisi exprime que l'on définit ainsi quelque chose (radiochroïsme) d'analogue à la coloration que peuvent présenter soit une source lumineuse, soit un corps transparent et éclairé, selon la qualité moyenne des rayons lumineux que cette source fournit ou que ce corps laisse passer.

Cet appareil consiste essentiellement en un système de deux ou trois échelles constituées par trois corps différents placées à côté l'une de l'autre, et présentant chacune une série d'épaisseurs régulièrement croissantes.

En radiographiant ou en radioscopant un tel système, on constate qu'il

(1) Ce paragraphe a été rédigé par L. Benoist.

y a égalité de transparence entre trois épaisseurs des trois corps employés. On définit ainsi leurs équivalents de transparence pour la qualité de rayons X employée.

La forme la plus simple donnée par L. Benoist à son radiochromomètre est celle d'un disque d'aluminium divisé en 12 secteurs dont les épaisseurs vont en croissant régulièrement depuis 1 millimètre jusqu'à 12 millimètres. Au centre est une ouverture occupée par un disque d'argent de $0^{mm},11$ d'épaisseur, représentant l'équivalent de ce dernier métal vis-à-vis de 75 millimètres de paraffine, et pour des rayons X moyens. On définira les rayons X employés par le numéro du secteur d'aluminium dont la transparence égale celle du disque central d'argent. C'est ainsi que des rayons X de dureté moyenne donneront 6, des rayons X beaucoup plus mous donneront 2, etc.

La méthode précédente a permis à L. Benoist de démontrer que pour un même réglage électrique, la qualité des rayons X fournis par une ampoule radiogène dépend de la nature de l'anticathode, celle-ci produisant des rayons X de même qualité moyenne que ceux pour lesquels le corps qui la constitue a le plus d'opacité. C'est ainsi que le pouvoir absorbant de l'aluminium augmentant plus vite que celui du platine à mesure que les rayons X deviennent plus mous, une anticathode d'aluminium émet plus facilement des rayons mous qu'une anticathode de platine. De là cette conséquence que l'anticathode d'aluminium, toutes choses égales d'ailleurs, marque mieux que celle de platine les oppositions entre la transparence des chairs et celle des os, soit sur l'écran fluorescent, soit sur la plaque radiographique.

2° **Méthode générale d'analyse qualitative et quantitative.** — Grâce à l'invariabilité des opacités spécifiques des corps simples, pour une même qualité de rayons X, quel que soit l'état de combinaison ou de mélange de ces corps simples, on peut calculer d'avance ce que doit être l'équivalent de transparence d'un corps plus ou moins complexe, connaissant les équivalents de transparence et les proportions respectives de ses éléments constitutifs.

La formule générale établie et vérifiée par L. Benoist est la suivante :

$$\frac{M}{E} = \frac{m}{e} + \frac{m'}{e'} + \frac{m''}{e''} + \ldots \text{ etc.}$$

M est la masse du corps considéré;

m, m', m'', etc., sont les masses de ses éléments constitutifs ; on a donc par suite :

$$M = m + m' + m'' + \ldots$$

E est l'équivalent de transparence du corps ;

e, e', e'', etc., sont les équivalents de transparence de ses éléments, pour une espèce déterminée de rayons X.

Le calcul est analogue à celui que donne la densité d'un mélange, connaissant les densités et les proportions des éléments qui le constituent.

$$\left.\begin{array}{l}\text{Silicium (mesuré) } E = 15{,}7\\ \text{Oxygène (mesuré) } E = 44{,}5\end{array}\right\}\text{ d'où quartz } SiO^2 \left\{\begin{array}{l}\text{calculé } E = 24\\ \text{mesuré } E = 24{,}1\end{array}\right.$$

Il est clair que la même formule permet de calculer la masse *m* de l'un des éléments composants, connaissant tous les autres facteurs.

Par exemple l'os frais contient de l'osséine, matière organique quaternaire, $C^6H^{10}Az^2O^2$, dont l'équivalent de transparence sera 63, et de la matière minérale formée en presque totalité de phosphate tricalcique, dont l'équivalent sera 12. Supposons qu'en déterminant l'équivalent de transparence d'un morceau d'os, on trouve 18. On pourra alors calculer la proportion de matière minérale contenue dans cet os.

La formule donne :

$$\frac{100}{18} = \frac{x}{12} + \frac{100 - x}{63};$$

d'où : $x = 59$.

Cet os contient donc $\left\{\begin{array}{l}\text{59 o/o de matières minérales.}\\ \text{41 o/o d'osséine.}\end{array}\right.$

Si l'on ne connaît pas d'avance la composition chimique d'un corps, la valeur que l'on trouvera pour son équivalent de transparence indiquera dans quelle catégorie de corps simples on doit chercher ses éléments constitutifs.

Par exemple, un composé dont l'équivalent ne dépasse pas 1 décigramme appartient certainement à un corps simple de poids atomique très élevé, tel que or, platine, mercure, plomb.

C'est ainsi, encore, qu'une matière organique *pure*, uniquement formée de carbone, hydrogène, oxygène et azote, présente un équivalent de transparence toujours supérieur à 40. Si donc on trouve une valeur inférieure, on peut conclure à la présence de matières minérales. Il suffirait de 1 p. 100 de plomb pour abaisser son équivalent de transparence de 50 à 31.

Ainsi se trouvent ramenés à une méthode d'analyse absolument générale et rationnelle les divers essais précédemment tentés dans ce sens d'une façon tout empirique (essais des farines, des houilles, des diamants, etc.). Cette méthode peut atteindre dans certains cas jusqu'à une précision de l'ordre du millième.

Elle peut même rendre des services dans l'observation des tissus vivants. Car si l'on évalue leur masse, sous l'épaisseur observée, en s'appuyant sur des données anatomiques, il suffira de procéder à leur examen radiologique comparativement à une échelle de transparence préalablement étalonnée, ou à un radiochromomètre, pour obtenir une évaluation suffisamment approchée de leur degré de minéralisation (1).

(1) Voir : L. Benoist, *Journal de Physique*, nov. 1901, et *Archives d'Électricité médicale*, mars et mai 1902.

§ 4. — Action calorifique des rayons X.

Que devient l'énergie enlevée à un faisceau de rayons X par la matière dans laquelle il pénètre ? Dans le cas d'un gaz, une certaine quantité d'énergie est empruntée aux rayons X pour produire un changement d'état spécial du gaz, l'*ionisation*, état caractérisé par la conductibilité électrique (cf. § 5). D'autre part, tous les corps frappés par les rayons X émettent des rayons secondaires qui emportent une partie de l'énergie des rayons X. Mais dans le cas des métaux qui transforment notablement les rayons X, il est clair que les rayons secondaires émis par un petit élément de matière sont arrêtés en grande partie dans une épaisseur du métal environnant qui transmet les rayons X sans les affaiblir beaucoup ; il faudrait savoir alors ce que devient l'énergie de ces rayons secondaires.

Il est établi que le corps qui reçoit les rayons X s'échauffe. Dorn (1) l'a, en effet, observé avec une série de minces lames métalliques exposée aux rayons X. Il a réuni par un manomètre très sensible deux tubes de Crookes dont l'un contient les lames métalliques. En exposant ces lames aux rayons X, il a vu l'index du manomètre se déplacer, indiquant un échauffement des lames. Même si les lames sont en nombre suffisant pour arrêter complètement les rayons X, l'énergie calorifique ainsi développée est considérablement plus petite que celle que développeraient les rayons cathodiques d'où les rayons X sont issus ; l'échauffement du métal ne dépasse guère le dix-millième de degré. Des expériences sur la même question au moyen de la méthode du bolomètre ont été faites par K. Schœps (2) au laboratoire de Dorn, puis par E. Rutherford et R. K. Mc. Klung (3). D'après les expériences d'un certain nombre de physiciens, interprétées au moyen d'hypothèses assez vraisemblables, il semble que la luminescence des écrans au platino-cyanure provoquée par les rayons X utilise une quantité d'énergie comparable à celle que les rayons X développent sous forme de chaleur dans un métal qui les arrête en majeure partie. On n'en saurait dire autant de l'action radiographique, qui semble augmenter non pas simplement quand l'énergie des rayons X augmente, mais avant tout quand la pénétration des rayons diminue : dans un faisceau de rayons X complexe, ce sont les plus absorbables qui possèdent la plus grande activité radiographique, ce sont les plus pénétrants qui paraissent représenter la plus grande partie de l'énergie.

§ 5. — Étude de la décharge des conducteurs électrisés produite par les rayons X.

L'action des rayons X sur les corps électrisés, connue mais non publiée tout d'abord par le professeur Röntgen, a été découverte presque simultané-

(1) *Wiedemann's Annalen d. Physik*, t. LXXIII, p. 160, 1897.
(2) K. Schoeps, *Zeitschrift für Naturwiss.*, Stuttgart, t. LXXII, p. 145, 1899.
(3) E. Rutherford et R. K. Mc. Klung, *Société royale de Londres*, novembre 1900.

ment par Benoist et Hurmuzescu (1) à Paris, H. Dufour à Lausanne (2), A. Righi à Bologne (3), J. J. Thomson à Cambridge (4). Le fait fondamental est que les conducteurs positifs ou négatifs sont déchargés avec la même vitesse sous l'influence des rayons X qui les frappent, tandis que l'électricité négative seule est dissipée par la lumière ultra-violette. Dans un même gaz, la vitesse de la décharge augmente en même temps que la pression du gaz, et elle dépend de la nature du gaz (Benoist et Hurmuzescu (5), J. J. Thomson). Benoist et Hurmuzescu (6) ont encore montré que la vitesse de décharge d'un conducteur frappé par les rayons X dépend de la nature du métal qui forme le conducteur. Les professeurs J. J. Thomson et Röntgen ont reconnu que l'air traversé par les rayons X est devenu conducteur de l'électricité et conserve cette propriété pendant un instant ; on peut décharger un conducteur en amenant sur lui de l'air ainsi *röntgenisé*. Il résulte des recherches des professeurs Righi, Villari, J. J. Thomson (7) que la décharge d'un conducteur peut avoir lieu sans qu'il soit touché par le faisceau rectiligne de rayons X et que les charges électriques libérées par les rayons X se déplacent le long des lignes de force du champ électrique. J. Perrin a montré nettement que, si les rayons X traversent des tubes de force électrique réunissant deux conducteurs dans un gaz en repos, les tubes de force rencontrés dans un gaz par les rayons deviennent conducteurs de l'électricité. Il a isolé et étudié ce phénomène fondamental en faisant passer un faisceau de rayons X entre les armatures d'un condensateur formé de deux plaques métalliques ; le condensateur se décharge, bien que les armatures ne soient point touchées par le faisceau (8). On peut dire avec J. Perrin : Là où des rayons X traversent un gaz apparaissent des charges égales et contraires (*ionisation*) ; puis ces charges (*ions* positifs et *ions* négatifs) se meuvent sous l'influence du champ électrique ambiant le long des tubes de force qui les contiennent jusqu'à ce qu'elles rencontrent un conducteur qu'elles déchargent, ou un isolant solide ou liquide qu'elles chargent (9).

Voici l'une des expériences fondamentales de J. Perrin : Une plaque rec-

(1) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 235, 1896.

(2) *Archives des Sc. phys. et nat. de Genève*, 4e période, t. I, p. 111.

(3) *Rendiconti della R. Ac. di Bologna*, février 1896.

(4) *Proceed. Royal Soc.*, t. LIX, p. 274, 1896.

(5) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 926, 1896.

(6) *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 779, 1896.

(7) Les expériences faites à ce sujet par le professeur A. Righi présentent une grande analogie avec celles qu'il avait réalisées quelques années auparavant au sujet de la décharge par les rayons ultra-violets (*Atti della R. Accad. di Bologna*, 1888, 1889, 1890, 1891).

(8) Le professeur Villari (*Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 428) avait cru pouvoir admettre que les rayons X s'incurvaient fortement ; cette interprétation est en contradiction avec les faits.

(9) Le professeur J. J. Thomson avait annoncé que tout gaz devient conducteur à la manière d'un électrolyte. C'est dans son laboratoire que furent faites plus tard la plupart des expériences relatives à l'*ionisation des gaz* par les rayons X.

tangulaire α est découpée dans l'armature βαβ' d'un condensateur (fig. 232). Le plateau A communique avec l'un des pôles d'une source électrique dont l'autre

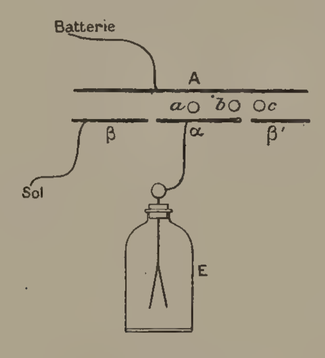


FIGURE 232.

pôle communique avec le sol. Le plateau ββ' est aussi au sol ; la plaque α est d'abord mise en communication avec ββ' puis isolée ; elle est reliée d'une façon permanente aux feuilles d'or bien isolées d'un électroscope. On fait alors passer un faisceau de rayons X entre les deux plateaux A et ββ' *sans que ce faisceau les touche.*

Quand le faisceau passe en *a* ou en *b*, les feuilles d'or de l'électroscope divergent rapidement ; c'est dire que la plaque α se charge sous l'influence des rayons X qui traversent les lignes de force électrique réunissant cette plaque α à la partie centrale du plateau A. Si le faisceau de rayons X passe en *c*, les feuilles d'or restent verticales ; l'air est toujours traversé cependant par les rayons, mais non les lignes de force qui se terminent à la surface de α ; il y a bien des ions positifs et négatifs libérés par les rayons X, mais ces ions ne suivent plus que des lignes de force aboutissant sur β' et non en α, l'électricité qu'ils apportent à ββ' se perd dans le sol, α ne reçoit plus de charge.

Si, au contraire, A est au sol et βαβ' électrisé, l'action des rayons X sensiblement nulle quand ils passent en *c*, produit quand ils passent en *b* la décharge de la plaque α, et l'on voit les feuilles d'or qui divergeaient d'abord se rapprocher progressivement jusqu'à retomber verticales.

Ce mode de décharge isole un phénomène indépendant de la nature des métaux des conducteurs, mais dépendant de la nature et de la pression du gaz qui les sépare ; d'où le nom d'*effet gaz* que lui a donné J. Perrin.

On a beaucoup étudié les mouvements des *ions* positifs ou négatifs libérés dans les gaz par les rayons X. L'une des principales particularités de ces ions est de se déplacer avec des vitesses d'autant plus grandes que le champ électrique dans lequel ils se trouvent est lui-même plus grand. Dans un champ de quelques volts par centimètre, les vitesses des ions atteignent seulement quelques centimètres par seconde dans l'air atmosphérique. Aussi l'influence du temps est-elle très visible dans les phénomèmes de décharge. Si, par exemple, on fait passer un faisceau de rayons X à quelques mètres

au-dessus du bouton d'un électroscope chargé, il faut un temps très appréciable avant que les ions produits dans l'air traversé par les rayons descendent jusqu'au bouton qu'ils commencent alors à décharger. Inversement, la décharge continue après que les rayons ont cessé de traverser l'air.

Voici maintenant comment l'étude des rayons secondaires a permis de compléter ces résultats (1) :

Dans les expériences de la figure 221, p. 374 (ou de la figure 225, p. 383), la décharge de la feuille d'or *f* a lieu sous l'influence des rayons secondaires du corps MM, métallique ou non, sans que les rayons X pénètrent dans le champ électrique de la feuille d'or *f*, tout entier renfermé dans la cage de l'électroscope. *Cette expérience isole une action propre du corps* MM, *et cette action a lieu à distance.*

Supprimons maintenant la feuille d'aluminium battu *aa* qui fermait le champ électrique de *f* et plaçons une lame d'aluminium AA (fig. 233) entre le

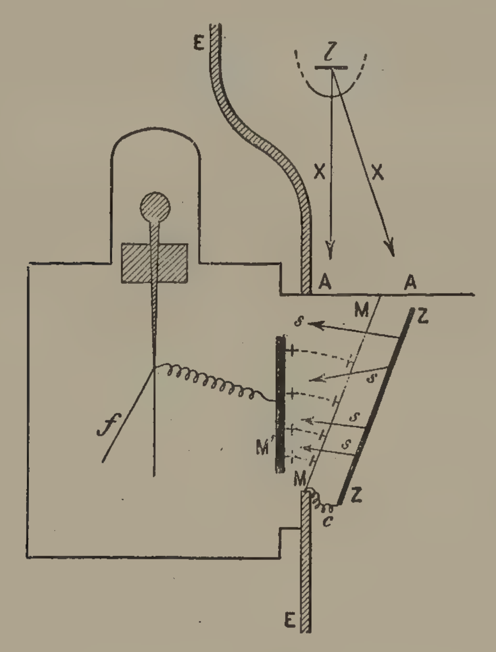


FIGURE 233.

tube focus et la lame métallique MM réduite aux dimensions de l'ouverture de l'écran EE, de manière à prolonger la cage de l'électroscope jusqu'à l'espace compris entre AA et MM. Des lignes de force sont maintenant échangées entre la feuille d'or *f* et le métal MM. Les rayons X agissent à la fois sur l'air que traversent ces lignes de force dans l'espace compris entre AA et

(1) G. SAGNAC, *Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 36 (1898) ; *l'Éclairage électrique* du 26 mars 1898. Ces expériences ont conduit à rejeter la théorie de l'ionisation superficielle proposée par J. Perrin pour expliquer ce qu'il avait appelé l'effet métal. Cf. à ce sujet, G. SAGNAC, *De l'Optique des rayons de Röntgen*. Paris, Gauthier-Villars, 1900, p. 119.

MM (*effet gaz primaire*), et en frappant le métal MM maintenant placé dans le champ électrique (*effet secondaire*).

Le second effet est ici bien plus considérable que le premier si MM est une lame d'un métal lourd. Il est dû à l'action des rayons secondaires S émis par le métal MM.

Disposons une nouvelle feuille d'aluminium à la place de la feuille de métal lourd MM ; la faible action de décharge que nous observons alors correspond assez exactement à l'effet primaire ; elle lui est même un peu supérieure à cause de l'action des rayons secondaires de l'aluminium et des rayons secondaires envoyés par l'air situé derrière. Nous pouvons rendre l'effet primaire beaucoup plus intense en reliant électriquement à la feuille d'or *f* une plaque métallique M′ (fig. 233) isolée électriquement et assez rapprochée de MM pour échanger avec MM de nombreuses lignes de force ; l'effet primaire peut atteindre alors l'effet secondaire, c'est-à-dire que l'effet obtenu en plaçant le métal lourd en MM étant représenté par 2, l'effet obtenu quand MM est une feuille d'aluminium sera voisin de 1.

Quelle que soit la grandeur de l'effet primaire, supposons-nous d'abord dans le cas où cet effet se produit presque seul. MM est alors une feuille d'aluminium battu de l'épaisseur de l'ordre du micron. Au-dessous de cette feuille mince MM, disposons parallèlement à MM une lame ZZ d'un métal lourd, tel que le zinc, qui reçoive les rayons X transmis à travers MM. La rapidité de la décharge augmente aussitôt. Rapprochons la lame ZZ de MM parallèlement à elle-même ; la rapidité de la décharge augmente graduellement. L'action est maximum quand la lame ZZ est appliquée contre la feuille mince d'aluminium MM. Enlevons enfin cette feuille d'aluminium de manière que la lame ZZ soit à la place occupée par MM sur la figure 233. L'effet secondaire seul augmente de 1/10 seulement de sa valeur dans le cas du zinc, du cuivre, quand on met ainsi le métal lourd à nu. La plus grande partie au moins de l'*effet secondaire*, dû à de tels métaux, est donc due à une action à distance.

G. Sagnac a constaté que les rayons secondaires rendent l'air conducteur de l'électricité, comme les rayons X, et peuvent décharger une surface métallique, comme dans les expériences de J. Perrin, sans rencontrer ni cette surface, ni les surfaces avec lesquelles la première échange des lignes de force. De là l'explication suivante de la décharge d'un conducteur C (fig. 234) frappé par les rayons X : chaque élément de volume *dv* de l'atmosphère adjacente au conducteur C est traversé à la fois par les rayons X incidents, par les rayons secondaires S, que le métal M émet sous l'influence des rayons X ; si un autre conducteur est assez rapproché de C, l'élément de volume *dv* peut être traversé aussi par des rayons secondaires émanés du conducteur C, ou même par les rayons tertiaires, qui proviennent de chacun des conducteurs sous l'influence des rayons secondaires de l'autre ; en toute rigueur même, il faut tenir compte des rayons disséminés envoyés dans l'élément *dv* par le reste de la masse du gaz. La conductibilité du

gaz est produite dans chaque élément de volume *dv* du gaz sous l'influence de tous les rayons qui la traversent, et il y a lieu de supposer que les rayons secondaires ou tertiaires agissent, comme on l'admet pour les rayons X, en

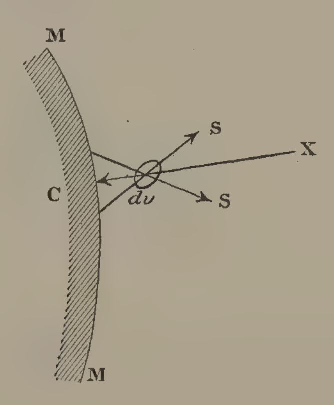


FIGURE 234.

libérant dans chaque élément de volume *dv* d'égales quantités d'électricité positive et négative que le champ électrique entraîne respectivement en sens opposés jusque sur les conducteurs électrisés négativement ou positivement.

On peut se demander si les effets *secondaires* ou *tertiaires*, évidemment nécessaires pour expliquer le mécanisme de la décharge, y suffisent complètement. L'expérience montre que l'effet secondaire électrique accompagne la production des rayons secondaires, leurs actions sur les plaques photographiques et sur les écrans luminescents. Au lieu du dispositif de la figure 233, on peut employer celui de la figure 235 et obtenir des résultats

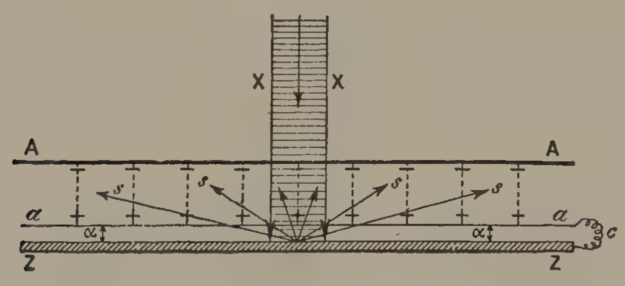


FIGURE 235.

analogues : un faisceau de rayons X traverse normalement les deux armatures d'aluminium AA et *aa* d'un condensateur plan ; on approche derrière *aa* une lame ZZ d'un métal lourd reliée au sol comme *aa ;* on constate que la vitesse de décharge de l'armature de AA augmente aussitôt. Quand ZZ touche *aa*, la suppression de cette feuille d'aluminium *aa*, d'épaisseur de l'ordre du micron, fait ici encore augmenter l'effet secondaire. Cette augmentation s'explique suffisamment par l'*absorption* des rayons secondaires de ZZ dans l'aluminium ; elle est de l'ordre de 1/10 avec le zinc et le cuivre ; or

nous avons vu que l'action radiographique de ces métaux placés contre la couche de gélatino-bromure (fig. 227, p. 387) était légèrement affaiblie par l'interposition d'une feuille d'aluminium d'épaisseur comparable au micron.

L'affaiblissement de l'effet secondaire électrique et celui de l'action radiographique, dans ces conditions, marchent parallèlement ; ils deviennent tous deux plus importants quand on passe du cuivre au zinc, au fer et au nickel, à l'étain, au platine et au plomb ; pour ces deux derniers métaux, une épaisseur d'aluminium comparable au micron arrête environ la moitié de l'effet secondaire électrique ; nous avons vu justement que la même épaisseur d'aluminium arrête une grande partie de l'action radiographique des rayons secondaires.

D'autre part, quand le métal ZZ recouvert de la mince feuille d'aluminium *aa* est éloigné derrière cette feuille, les rayons secondaires, avant d'agir sur l'air du champ électrique compris entre AA et *aa*, doivent traverser la couche d'air d'épaisseur α comprise entre *aa* et ZZ; or l'effet secondaire électrique s'affaiblit dans ces conditions comme on pouvait s'y attendre d'après l'influence géométrique de la distance et de l'absorption par l'air ; la première influence est assez faible avec le dispositif de la figure 235 ; il y a peu de rayons secondaires qui n'entrent pas dans le condensateur quand l'épaisseur α est, par exemple, de 1 millimètre, le diamètre des armatures AA et *aa* étant de plusieurs centimètres ; or, dans ces conditions, l'effet secondaire du cuivre, par exemple, s'affaiblit à peine, tandis que celui du platine diminue d'une fraction notable de sa valeur ; nous avons vu justement que les rayons du platine sont fortement absorbés par l'air. D'une manière générale, il n'est pas nécessaire, même pour les métaux très lourds comme l'or, le platine, le plomb, d'admettre qu'une partie notable de l'effet du métal soit due à un phénomène superficiel.

Conformément à ce qui précède, l'action d'un métal dans la décharge n'est pas uniquement définie par la nature du métal, la nature et la pression du gaz ambiant, l'intensité du champ électrique, la forme et l'étendue de la surface métallique. Elle dépend de l'épaisseur du métal et augmente avec cette épaisseur. Elle augmente avec le volume du gaz soumis à l'action électrique des rayons secondaires. L'effet dû au métal dans la décharge d'un condensateur augmente quand on augmente la distance des armatures ; il faut toutefois prendre garde que la signification de l'effet observé est extrêmement complexe et ne saurait servir à étudier l'absorption des rayons secondaires par l'air :

1° Les rayons secondaires émis par une armature MM (fig. 236) d'un métal lourd qui reçoit les rayons X à travers une armature AA d'aluminium, sont, en partie, émis latéralement en dehors du condensateur et traversent de l'air soumis un champ électrique notablement inférieur à celui qui règne entre les deux armatures. Or, l'action de décharge varie dans le même sens que la valeur du champ électrique. Les rayons secondaires latéraux sont donc mal utilisés pour une proportion d'autant plus

importante que l'armature MM est plus éloignée de AA.

2° Une partie de l'action du métal M est due à ce que les rayons secondaires qui en émanent et arrivent sur AA y donnent quelques rayons tertiaires dont l'action électrique est aussi d'autant plus faible que la source des rayons secondaires est plus éloignée de AA. Cette influence des rayons tertiaires n'est toutefois notable que pour un condensateur dont les armatures sont seulement distantes de quelques millimètres au plus.

3° Sous l'influence des rayons X, le champ électrique cesse d'être uniforme dans toute l'épaisseur du condensateur et se localise principalement au voisinage des armatures M. A. Child, qui a découvert ce phénomène (1), a montré que, par exemple, avec un condensateur dont les armatures sont à une différence de potentiel de 120 volts et distantes de 60 millimètres, il existait, dans une couche d'air d'environ 3 millimètres au voisinage de chaque armature M et A, un champ correspondant à un gradient d'environ 100 volts par centimètre, tandis que le champ était environ dix fois plus petit en

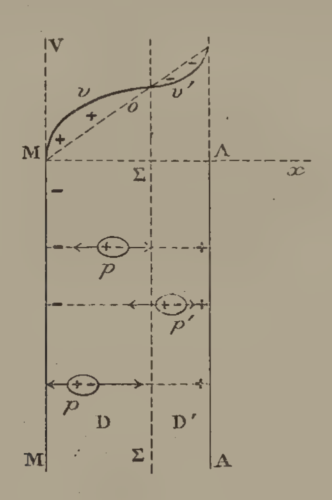


FIGURE 236.

moyenne dans les 54 millimètres d'air restant. C'est ce que montre la figure 236 où la courbe M*vov'* représente la variation du potentiel électrique entre l'armature négative M et l'armature positive A lorsque les rayons X agissent à travers l'armature d'aluminium AA. On constate qu'il y a de M en *o* de l'électricité positive apportée et renouvelée à chaque instant dans l'air par les ions, tandis qu'à droite de M*o* il y a de l'électricité négative. Le champ n'est important que près de M et de A, puisque dans ces régions seules le potentiel varie rapidement. Or, l'action de décharge augmente

(1) CHILD, Ueber die Potentialgradienten an Metalelectroden bei der Entladung durch X-Strahen (*Wied. Ann.*, t. LXV, p. 152, et aussi *The Phys. Rev.*, t. V, p. 193, 1897). Le phénomène a été ensuite étudié par ZELENY (*Phil. Mag.*, 5e série, t. LVI, p. 120, 1898); G. SAGNAC (*Comptes rendus* du 4 juillet 1898); etc...

avec le champ ; on comprend ainsi que l'effet dû aux rayons secondaires soit, indépendamment de l'absorption par l'air, plus grand dans les premières couches d'air au voisinage du métal.

Tout ce qui précède est relatif à la décharge d'une lame métallique frappée par les rayons X du côté de sa face électrisée. Si la lame n'est pas assez épaisse pour arrêter les rayons X et qu'elle soit frappée par l'autre face, les rayons secondaires postérieurs la déchargent en même temps que les rayons X transmis. C'est ce qui arrive, par exemple, dans les expériences signalées déjà au sujet de l'influence des rayons secondaires postérieurs sur la transparence apparente d'une lame formant la paroi, reliée au sol, d'un électroscope, et au sujet de l'influence de l'ordre d'un système de deux lames, formant la paroi d'un électroscope, sur la transparence apparente du système (p. 396-398). Ces phénomènes ont été retrouvés, après les expériences de G. Sagnac, par le professeur A. Winkelmann (1).

Parmi les divers caractères de l'effet secondaire électrique, il importe de signaler le fait qu'il peut atteindre et même dépasser l'effet primaire, dû aux rayons X, quand ils agissent sur un condensateur dont on rapproche suffisamment les armatures. On comprend, en effet, que l'effet des rayons secondaires, plus important dans les premières couches d'air voisines du métal rayonnant, diminue bien moins vite que l'effet primaire avec l'épaisseur de la lame d'air du condensateur. D'autre part, les rayons secondaires d'un métal lourd étant beaucoup plus absorbés par l'air que ne le sont les rayons X incidents, on comprend que la conductibilité de l'air provoquée par les rayons secondaires puisse être plus importante que celle que provoquent les rayons X, bien que les rayons secondaires émis par une mince couche superficielle ne doivent représenter qu'une petite partie de l'énergie des rayons X incidents ; on peut dire qu'il y a une sorte de compensation entre la petitesse de leur couche d'émission et leur faible pouvoir de pénétration, qui en est précisément la conséquence. La même remarque s'applique aux actions radiographiques, qui utilisent surtout les rayons les plus absorbables et présentent d'assez grandes analogies avec les actions électriques ; rappelons, par exemple, que l'importance de l'effet secondaire électrique ou radiographique dans l'effet total augmente quand les rayons X sont filtrés par un écran et deviennent plus pénétrants.

Il résulte des différences observées entre les trois modes principaux d'action des rayons X ou secondaires (action électrique, radiographique ou radioscopique) qu'on n'a aucune raison de supposer aucun de ces modes d'action relié simplement à l'énergie des rayons incidents ; tout dépend du mode d'utilisation des rayons ; en particulier, à mesure que l'épaisseur de la lame d'air d'un condensateur augmente, l'importance relative des rayons les moins pénétrants, qui sont absorbés dans les premières couches d'air,

(1) A. Winkelmann, *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 1, 1898. *L'Éclairage électrique*, t. XXI, p. 349, 1899.

va en diminuant et les différences entre le récepteur électrique et l'écran luminescent sont atténuées ; il est clair aussi que l'épaisseur de la couche sensible photographique ou de la couche de sel luminescent employées ne sont pas sans influence. Seul le phénomène de l'échauffement des métaux frappés par les rayons X (1) pourrait permettre d'étudier l'énergie des rayons X, du moins celle des rayons absorbés. Il résulte du mécanisme de l'émission secondaire que la transformation d'une partie au moins de l'énergie des rayons X en chaleur dans la masse d'un métal lourd est précédée de leur transformation en rayons moins pénétrants, qui sont étouffés avant d'avoir pu émerger du métal.

§ 6. — Analogie de la décharge par les rayons de Röntgen et par les rayons secondaires avec la décharge par les rayons ultra-violets de Lénard.

Il résulte des diverses expériences que la décharge d'un conducteur soit positif, soit négatif, est provoquée par les rayons de Röntgen ou les rayons secondaires :

1° Quand le conducteur reçoit directement les rayons (Benoist et Hurmuzescu) ;

2° Quand un corps voisin lui envoie des rayons disséminés (rayons secondaires ou tertiaires) (G. Sagnac) ;

3° Quand le gaz soumis au champ électrique du conducteur est traversé par un faisceau de rayons, même si ce faisceau ne frappe aucun des conducteurs électrisés, ni directement, ni après dissémination (J. Perrin) ;

4° Quand un faisceau de rayons traverse le gaz soumis à un champ électrique F_e extérieur au champ électrique F_i du conducteur, mais de même sens que F_i et séparé du champ F_i par un écran conducteur discontinu (voir G. Sagnac, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences* du 5 février 1900).

Ces quatre principaux modes de décharge se groupent d'ailleurs autour du troisième ; ils résultent donc tous plus ou moins *indirectement* d'un effet qui a son siège dans la masse du gaz soumis à la fois à l'action du champ électrique et à celle des rayons. Il semble ainsi y avoir opposition complète entre le mode d'action des rayons de Röntgen ou des rayons secondaires et l'action de décharge que les rayons ultra-violets exercent uniquement quand ils *frappent* un corps *négatif*. La différence semble d'autant plus profonde qu'il ne paraît pas y avoir dans le mode de décharge par les rayons de Röntgen, ni par les rayons secondaires, de différence partielle entre les actions sur les deux électricités annonçant la différence absolue entre ces deux actions dans la décharge par les rayons lumineux. Mais s'il n'y a pas de rayons de Röntgen ni de rayons secondaires qui se rapprochent, à ce

(1) Cf. § 4 de ce chapitre, p. 405.

point de vue, des rayons lumineux jusqu'ici étudiés, on peut se demander si, inversement, il n'y a pas d'autres rayons lumineux se rapprochant à ce point de vue des rayons de Röntgen et des rayons secondaires. C'est justement le cas des rayons lumineux ultra-violets, récemment découverts et étudiés par le professeur Lenard (1). En voici le mode de production et les principales propriétés.

Les étincelles électriques produites par un gros inducteur, actionné par un interrupteur de Wehnelt et relié à une bouteille de Leyde, éclatent entre deux pointes de métal (Al, Cd, Sn, Pb, Zn, Mg). Elles sont le siège d'une émission de rayons ultra-violets qui se propagent en ligne droite, se réfractent à travers le spath-fluor, le sel gemme, le quartz suivant des indices de réfraction correspondant, d'après les formules de dispersion extrapolées, à des longueurs d'onde allant de $0^{\mu},19$ à $0^{\mu},14$ et sans doute en deçà.

Ces rayons sont capables de provoquer, comme les rayons de Röntgen, les rayons cathodiques, les rayons émis par les corps radio-actifs et les rayons ultra-violets déjà connus, la formation d'un brouillard dans un jet de vapeur d'eau sursaturée. Or, tandis que les rayons ultra-violets antérieurement étudiés ne produisent une décharge qu'en frappant un corps négatif et n'ont aucune action tant qu'ils rencontrent seulement les conducteurs positifs ou le gaz soumis au champ électrique des conducteurs, les rayons ultra-violets de Lenard agissent sensiblement à la manière des rayons de Röntgen et des rayons secondaires ; ils peuvent décharger non seulement les conducteurs électrisés négativement, mais encore les conducteurs électrisés positivement, dans certains cas avec la même vitesse, et cela même quand ils ne frappent point de conducteurs négatifs, soit directement, soit après diffusion ; *ils agissent surtout en rendant le gaz qu'ils traversent conducteur de l'électricité.* Ainsi disparaît l'une des principales différences entre les rayons X et les rayons ultra-violets.

§ 7. — Électrisation négative des rayons secondaires issus de la transformation des rayons X.

D'un autre côté, le faible pouvoir de pénétration des rayons secondaires des métaux lourds fait penser aux rayons cathodiques de Lenard, capables de parcourir seulement quelques centimètres à peine dans l'air atmosphérique qui les diffuse énergiquement. Cette analogie conduit à rechercher si les rayons secondaires, très absorbables par l'air, transportent avec eux des charges électriques négatives, puisque tel est le caractère fondamental des

(1) P. Lenard, Ueber Wirkungen des ultra-violetten Lichtes auf gasförmige Körper (*Drude's Annalen d. Physik*, t. I, p. 486-507, 1900). Ueber die Elektricitätszerstreuung in ultra-violett durchstrahlter Luft (*loc. cit.*, t. III, p. 298-319, 1900).

rayons cathodiques ; la déviation des rayons par le champ magnétique (1) ou par le champ électrique sera une conséquence probable de leur électrisation. On sait justement que le faisceau émis spontanément par le *radium* de M. et de Mme Curie est un mélange de rayons électrisés négativement (2) analogues aux rayons cathodiques, déviables par le champ magnétique et par le champ électrique, avec des rayons non déviables, analogues aux rayons X, qui sont, on le sait, sensiblement dépourvus de charges électriques (3). P. Curie et G. Sagnac ont pu reconnaître l'électrisation négative des rayons secondaires. A la pression atmosphérique, les rayons X et les rayons secondaires communiquent à l'air une conductibilité telle que le métal rayonnant n'est plus isolé. Il est alors impossible de recueillir l'électricité des rayons secondaires. Il faut éviter en même temps que les rayons secondaires des métaux lourds, souvent très peu pénétrants, ne soient absorbés au voisinage immédiat du métal qui les émet. P. Curie et G. Sagnac ont été amenés ainsi à placer les métaux dans l'air raréfié et à opérer à des pressions de plus en plus faibles, jusqu'au vide de Crookes ($0^{mm},001$ de mercure), afin de rendre à l'air ses propriétés isolantes, malgré l'action des rayons de Röntgen et des rayons secondaires qui le traversent. Le courant d'électricité négative représenté par l'émission secondaire du platine était dans ces expériences de l'ordre de grandeur de 10^{-10} ampère ; la lame de platine employée avait une surface d'environ 30 centimètres carrés et était placée à 6 centimètres de la source des rayons X.

Ce courant est assez faible pour qu'on puisse dire : Tant qu'on n'opère pas dans un gaz raréfié, les rayons secondaires provoquent la conductibilité des gaz en y libérant d'*égales* quantités d'électricité positive et négative ; mais dans un gaz raréfié l'on voit que l'influence des charges négatives des rayons secondaires doit apparaître, et ces rayons déchargent alors les corps positifs plus rapidement que les corps négatifs, ou même augmentent la charge des corps négatifs.

P. Curie et G. Sagnac ont fait varier la nature des métaux et constaté en particulier que le plomb et le platine sont parmi les métaux qui émettent le plus de charges négatives sous l'action des rayons X. Viennent ensuite l'étain et le zinc. Quant à l'aluminium, une expérience faite avec une enceinte de Faraday tapissée extérieurement d'aluminium et recevant des rayons de Röntgen semble montrer que les rayons secondaires assez pénétrants de ce

(1) Le professeur E. Dorn a annoncé que les rayons secondaires des métaux lourds sont déviés par le champ magnétique, et dans le même sens que les rayons cathodiques (*Abhand. d. Naturf. Gesell. zu Halle*. Bd. XXII, p. 40-42 ; 1900).

G. Sagnac avait antérieurement émis l'opinion *que les rayons secondaires très absorbables des métaux lourds peuvent renfermer des rayons analogues à ceux de Lenard et déviables comme eux par l'aimant* [G. Sagnac, *Recherches sur les transformations des rayons de Röntgen*, chap. Ier, 3e paragraphe : *Rayons secondaires, rayons X et rayons de Lenard* (l'*Éclairage électrique* du 12 mars 1898)].

(2) P. Curie et Mme P. Curie, *Sur la charge électrique des rayons déviables du radium. Comptes rendus*, t. CXXX, p. 647 ; 1900 (Voir : II, chap. II, § 2).

(3) P. Curie et G. Sagnac, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1013 ; 1900.

corps sont, comme les rayons X générateurs, dont ils diffèrent peu, sensiblement dépourvus de charge électrique.

L'interposition d'une lame d'aluminium d'un demi-millimètre sur le trajet des rayons X diminue à peine (de moins de 1/100) l'électrisation négative des rayons secondaires du platine. Les charges négatives des rayons secondaires proviennent donc surtout de l'action exercée sur le métal par les rayons X les plus pénétrants du faisceau incident. Cette particularité des charges négatives des rayons secondaires est analogue à celle qui a été signalée par G. Sagnac (§ 8 du chapitre précédent, p. 392) au sujet de l'action électrique ou radiographique des rayons secondaires.

De même il convient de rapprocher l'énergique affaiblissement que les rayons secondaires subissent parfois dans leur activité électrique ou radiographique en traversant une mince feuille d'aluminium battu, et l'affaiblissement comparable qu'éprouve en même temps la quantité d'électricité négative transportée par ces rayons. C'est ainsi que les rayons secondaires électrisés du plomb se montrent aussi peu pénétrants que les rayons cathodiques de Lenard.

Il importe de remarquer qne les mesures des courants d'électricité négative issus des métaux lourds frappés par les rayons X ont, pour des conditions expérimentales données, un sens absolu ; la quantité d'électricité transportée par les rayons secondaires est, dans un vide suffisamment poussé, indépendante de la distance parcourue par les rayons secondaires ; au contraire, les intensités des actions électriques, radiographiques ou radioscopiques des rayons secondaires, comme des rayons X, dépendent du mode d'utilisation des rayons, en particulier, de l'épaisseur d'air du condensateur électrique et de la couche photographique ou luminescente qui les reçoit. L'ensemble des faits observés conduit à penser que l'*émission électrique secondaire* des métaux lourds possède des propriétés analogues à celles des rayons cathodiques et des rayons déviables du radium : les particules d'électricité négative des rayons sont capables de dissocier l'électricité neutre des particules des gaz en quantités d'électricités positive et négative considérablement supérieures à la quantité d'électricité négative des rayons, tant du moins que le gaz étudié n'est pas trop raréfié. Il ne faut pas oublier que ces rayons, analogues aux rayons cathodiques, se produisent même dans le vide et en l'absence de toute électrisation du métal frappé par les rayons X.

Nous avons vu que l'action des rayons X et des rayons secondaires sur les gaz n'est pas essentiellement différente de l'action des rayons ultra-violets étudiés par Lenard. D'autre part, l'émission de rayons cathodiques par un métal lourd que frappent les rayons X n'est pas plus étrange que le phénomène analogue produit par les rayons ultra-violets : le professeur Righi (1) et, plus récemment, le professeur Ph. Lenard (2) ont en effet trouvé qu'un

(1) A. Righi, *Atti d. R. Accad. dei Lincei*, p. 81, 1890.
(2) P. Lenard, *Drude's Annalen*, t. II, p. 359-370, 1900.

métal frappé par les rayons ultra-violets émet un flux d'électricité négative, même lorsque la surface métallique frappée par les rayons n'est pas électrisée. Cette émission a les caractères de rayons cathodiques très absorbables et l'étude n'a pu en être faite, par le professeur Lenard, que dans le vide.

L'électrisation négative des rayons secondaires fournit donc une analogie nouvelle entre les rayons X et les rayons ultra-violets. Il est actuellement très probable qu'il y a, dans les rayons secondaires comme dans les rayons du radium, des rayons non électrisés de même espèce que les rayons X incidents qui les produisent en se diffusant ou se transformant.

§ 8. — Conclusions de l'étude des propriétés physiques des rayons X.

Tout point d'un corps frappé par les rayons cathodiques est une source de rayons X. Ce fait expérimental interprété par la théorie électro-magnétique de la lumière conduit à considérer les rayons X comme formés d'une série d'impulsions isolées de l'éther ; chaque impulsion est transversale au rayon comme si l'on avait un ébranlement de même nature que la lumière, mais diffère des ébranlements lumineux par sa forme : l'impulsion isolée est formée de deux impulsions successives de signes contraires et *rappelle* par là les deux moitiés successives de signes inverses qui forment chaque pulsation complète de la lumière ; seulement l'impulsion est très courte et *isolée* (G. Stokes et J. J. Thomson).

L'étude de la propagation des rayons X montre que ces radiations traversent tous les corps sans cesser de former un faisceau de rayons parfaitement rectilignes, ce qui les distingue de tous les rayons lumineux connus. Cette propriété remarquable n'est pas incompatible avec l'hypothèse qui consiste à considérer les rayons X comme formés d'ébranlements plus ou moins analogues à ceux qui forment la lumière. Elle s'explique bien, en particulier en considérant les rayons X comme le font G. Stokes et J. J. Thomson. D'une manière plus générale, elle s'explique, bien que les rayons X soient des rayons lumineux de longueur d'onde très petite vis-à-vis de celles de tous les rayons lumineux visibles ou ultra-violets connus (hypothèse des rayons ultra-ultra-violets) ou qu'ils soient formés d'ébranlements de forme quelconque mais changeant de sens beaucoup plus rapidement que les ébranlements lumineux (chap. I, § 10, p. 369).

L'*analogie avec la lumière* est, dans l'état actuel de la science, assez satisfaisante :

Les diverses particularités que présentent les silhouettes radiographiques se montrent tout à fait semblables à celles que présentent les photographies fournies par des sources lumineuses comparables par leur forme et leur position aux sources des rayons X. Ce fait est d'autant plus intéressant que

certaines de ces particularités tiennent au mode d'action, encore mal connu, des rayons sur les couches sensibles (1) (chap. I, § 7).

La résistance électrique du sélénium exposé aux rayons X change à peu près comme s'il était éclairé par de la lumière diffuse (2) ; au contraire les rayons hertziens ne modifient pas la résistance du sélénium (Perreau).

Les rayons X augmentent la longueur maximum que peut atteindre entre deux conducteurs l'étincelle provoquée au moyen d'une source électrique déterminée (3). Cette action se montre assez analogue à celle de la lumière ultra-violette telle qu'elle a été constatée par Hertz (4).

Les diverses singularités du mécanisme de la décharge des conducteurs sous l'influence des rayons X se sont montrées, à mesure que les recherches ont progressé, de moins en moins différentes des particularités de la décharge par les rayons ultra-violets : le fait fondamental est que les gaz traversés par les rayons X sont *ionisés*, c'est-à-dire qu'après le passage des rayons, le gaz renferme d'égales quantités d'électricité positive et négative portées chacune par des particules différentes (ions positifs plus lourds, ions négatifs plus légers). Au bout d'un certain temps, assez court, ces ions de signes contraires se recombinent et l'état d'ionisation du gaz disparaît. Mais tant que le gaz reste ionisé, il est capable de décharger un conducteur positif en lui cédant les charges de ses ions négatifs que l'attraction électrique entraîne vers le conducteur de signe contraire, ou bien de décharger un conducteur négatif en lui cédant les charges de ses ions positifs. Or certains rayons ultra-violets, de longueurs d'onde particulièrement courtes, sont capables aussi d'*ioniser* les gaz et par suite de décharger, même sans les toucher, les conducteurs positifs ou négatifs (Lenard) (§ 6 de ce chap., p. 414).

A côté de l'ionisation des gaz par les rayons, il convient de placer l'action découverte par Wilson : les rayons X qui passent dans l'air humide *sursaturé* y provoquent la condensation de la vapeur d'eau sous forme de brouillard. Cette action spéciale se produit aussi avec les rayons ultra-violets qui ionisent les gaz (Lenard).

Les particularités spéciales à la décharge des conducteurs par les rayons ultra-violets ordinaires paraissent explicables si l'on tient compte de ce fait

(1) Villard expose lui-même (dans le chap. V, p. 428) les remarquables phénomènes découverts par lui qui montrent l'opposition des effets des rayons X et de certains rayons lumineux sur les couches sensibles photographiques ou sur les substances luminescentes. Comme G. Sagnac l'a remarqué le premier, cette opposition ne doit pas être considérée comme différentiant la nature des rayons X et la nature des rayons lumineux, mais elle peut être regardée comme une analogie entre les deux espèces de rayons ; l'opposition se retrouve très nette entre les effets de certains rayons lumineux de longueurs d'onde convenablement différentes.

(2) Richard Threlfall et James Arthur Pollock, *Philosophical Magazine*, 5e série, t. XLI p. 453, 1896.

Perreau, *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 956, 1899.

(3) Borgmann et Gerschun, *Journal de la Société physico-chimique russe*, t. XXVIII, p. 37, 1896, et *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 378.

Swyngedauw, *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 374, 1896.

(4) Hertz, *Wiedemann's Annalen der Physik*, t. XXI, p. 983.

qu'un métal frappé par les rayons ultra-violets émet des rayons cathodiques, c'est-à-dire une pluie de particules électrisées négativement ; si le conducteur est électrisé négativement, il perd sa charge, sous l'influence des rayons ultra-violets qui le frappent, parce que les rayons négatifs qu'il émet la lui empruntent ou ionisent le gaz adjacent ; s'il est électrisé positivement, au contraire, il peut attirer et ramener sur lui les charges de signes contraires des rayons négatifs qui tendent à s'en échapper et à ioniser le gaz ambiant ; l'on conçoit alors que le conducteur positif puisse ne pas se décharger sous l'action de certains rayons ultra-violets si ces rayons n'agissent qu'en provoquant une émission de rayons cathodiques à partir du métal frappé et sont incapables d'ioniser eux-mêmes le gaz ambiant comme peuvent le faire les rayons ultra-violets de Lénard. Or les rayons X aussi provoquent en frappant les métaux une émission d'électricité négative à la manière des rayons ultra-violets ordinaires (§ 7, p. 415). D'une manière générale, les divers cas d'action électrique des rayons X correspondent à des cas d'action électrique des rayons ultra-violets de manière qu'il existe entre les modes d'action de ces deux espèces de radiations de *simples différences de degré.*

D'autre part, on est conduit à imaginer que le caractère surtout *atomique* de l'absorption éprouvée par les rayons X en traversant la matière s'explique comme la propagation rectiligne parfaite de ces rayons, en admettant qu'ils sont formés d'ébranlements changeant très rapidement de sens, de sorte que dans la transmission des rayons X les particules des corps fonctionnent en somme *comme dans la transmission de la lumière*, avec cette particularité qu'elles sont, dans leurs actions sur les ébranlements, *moins dépendantes les unes des autres*, ou même tout à fait indépendantes (chap. I, § 10).

Cette manière de voir permet de comprendre comment le phénomène de la dissémination des rayons par les corps purs et homogènes, certainement très faible dans le cas de la lumière, où il produit sans doute le bleu du ciel, s'exagère dans le cas des rayons X. Les rayons *secondaires* ainsi disséminés (chap. II) ne sont pas sans analogie avec les rayons lumineux que les corps diffusants, fluorescents ou phosphorescents émettent sous l'influence des radiations lumineuses. Le fait que divers éléments chimiques *transforment* les rayons X en une série de rayons secondaires beaucoup plus absorbables (chap. II, §§ 2, 3, 5, 7, 8, p. 377 et suiv.) et renfermant des rayons électrisés négativement (§ 7 de ce chap., p. 415), fournit la plus caractéristique peut-être des relations entre les rayons X et la matière et l'une des plus précieuses analogies entre les rayons X et les rayons lumineux.

CHAPITRE IV

LA VITESSE DE PROPAGATION DES RAYONS X

R. Blondlot (1) vient d'établir par des expériences d'une extrême élégance que la vitesse des rayons X est égale à la vitesse de la lumière. L'optique des rayons X fait ainsi un grand pas, et l'analogie entre les rayons X et la lumière, que nous avons développée avant de connaître la découverte de Blondlot, devient très étroite.

§ 1. — Dispositif général de la méthode de R. Blondlot.

Des pôles P, P′ d'une bobine d'induction (fig. 237) partent deux fils qui aboutissent aux électrodes H et H′ d'un tube focus ; avant d'atteindre le

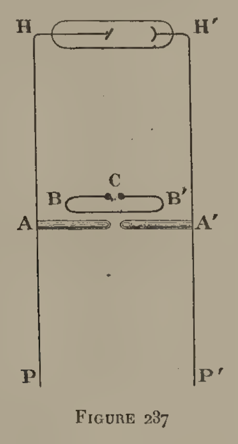


FIGURE 237

tube, ces fils, tendus horizontalement et parallèlement l'un à l'autre, sont fixés respectivement aux deux moitiés d'un excitateur de Hertz, formé de deux cylindres de laiton A et A′, de 0 cm, 8 de diamètre et de 6 centimètres de longueur, assujettis horizontalement dans la paroi d'un flacon

(1) *Comptes rendus*, t. CXXXV, p. 666, 721 et 763 ; 27 octobre, 3 et 10 novembre 1902.

contenant de l'huile de vaseline ; au-dessous de ce flacon (non représenté sur la fig.) est disposé un résonateur hertzien formé d'une boucle de fil de cuivre BB'C (on a représenté le résonateur à côté de l'excitateur AA', mais, en réalité, sa partie rectiligne BB' est placée au-dessous même de l'excitateur AA'). La coupure C du résonateur est du côté du tube HH' ; elle est protégée par des écrans en papier noirci et par une lame d'aluminium contre toute radiation autre que les rayons X.

§ 2. — **Fonctionnement de l'appareil.**

En réglant convenablement la distance explosive de l'excitateur AA' dans l'huile, on parvient à faire fonctionner le tube HH' producteur de rayons X, en même temps que la décharge éclate entre les deux moitiés A et A' de l'excitateur. Voici alors ce qui se passe : à chaque courant de rupture de la bobine d'induction, la différence de potentiel entre H et H' atteint une valeur suffisante pour que le tube focus fonctionne ; puis, cette différence de potentiel continuant à croître, l'étincelle éclate à l'excitateur AA' ; le tube, privé subitement d'alimentation, s'éteint, tandis que la décharge oscillante de l'excitateur se poursuit et s'achève.

Supposons d'abord que l'on ait disposé le tube HH' tout près de l'excitateur, les fils AH et A'H' étant aussi courts que possible (11 centimètres). Portons en abscisses les temps comptés à partir de l'instant où l'étincelle éclate dans l'huile et en ordonnées les différences de potentiel entre A et A'.

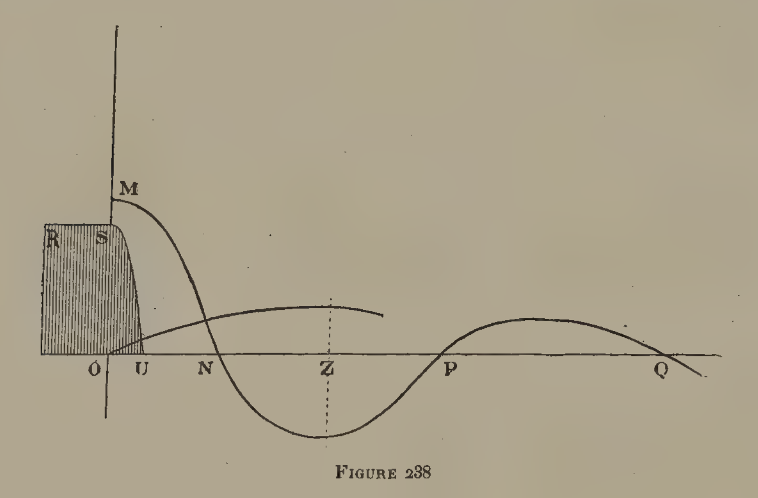


Figure 238

Nous avons ainsi, comme on sait, pour chaque décharge de l'excitateur, une sinusoïde rapidement amortie MNPQ... (fig. 238). L'appareil une fois réglé de façon que le tube et l'excitateur fonctionnent à la fois, on constate que si l'on diminue très peu la distance explosive de l'excitateur, la décharge ne

passe plus du tout par le tube, mais uniquement par l'excitateur ; cela montre que le potentiel nécessaire pour faire fonctionner le tube n'est inférieur que de peu au potentiel explosif de l'excitateur. Donc, à chaque décharge oscillante MNPQ... de l'excitateur, le tube s'éteint dès que le potentiel, d'abord égal au potentiel explosif OM, a un peu diminué, et, par conséquent, au bout d'un temps très inférieur au quart ON de la période de l'excitateur : l'intensité des rayons X, sensiblement constante (droite horizontale RS) avant que la décharge n'éclate à l'excitateur, descend ensuite très brusquement (courbe SU) (fig. 238). [La longueur d'onde de l'excitateur ayant été trouvée égale à 114 centimètres ; sa période est de $\frac{114}{3 \times 10^{10}}$ secondes ; par conséquent, OU est de beaucoup inférieur à $\frac{114}{12 \times 10^{10}}$ secondes.

Construisons maintenant la courbe ayant pour ordonnées les valeurs de la force électrique produite à la coupure du résonateur par la décharge de l'excitateur ; l'ordonnée de cette courbe est nulle à l'époque O pour laquelle toute la décharge passe encore dans le tube focus et elle atteint une valeur notable alors seulement que l'excitateur est déjà en partie déchargé ; le maximum de la force électrique à la coupure a lieu seulement quand l'excitateur est rechargé en sens contraire, c'est-à-dire après une demi-période OZ. Il suit de là que, lorsque le résonateur commence à osciller, les rayons X sont déjà éteints ; par suite, il ne peut pas y avoir d'action du tube HH′ sur l'étincelle secondaire (1). C'est ce que l'expérience vérifie, car l'étincelle ne change pas si l'on interpose entre le tube et la coupure une lame de plomb ou de verre qui arrête les rayons X.

§ 3.— **La vitesse des rayons X est comparable à celle de la lumière.**

Laissant le tube HH′ à la même place, remplaçons les fils courts AH, A′H′ de 11 centimètres par des fils de 25 centimètres, repliés sans coudes brusques. Cet allongement de 14 centimètres des fils, en retardant l'extinction des rayons X du temps que les ondes hertziennes emploient à parcourir 14 centimètres, a pour effet de retarder d'autant la disparition des rayons X à la coupure et de laisser ainsi à ces rayons le temps d'agir sur l'étincelle. C'est bien ce que l'on constate, car l'interposition d'une lame de plomb ou de verre qui arrête les rayons X rend maintenant l'étincelle manifestement moins éclatante. Cette action des rayons X augmente si l'on augmente la longueur des fils de transmission ; elle est de plus en plus marquée quand la longueur de ces fils passe à 33, 80, 130 centimètres...

Au contraire, laissons invariable la longueur (50 centimètres par exemple) des fils de transmission, supposés repliés sur eux-mêmes sans coude brusque,

(1) Voir sur cette action : Blondlot, *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 1559 ; 1902.

et éloignons peu à peu le tube HH′ de la coupure C ; l'arrivée des rayons X à la coupure se trouve retardée du temps que ces rayons mettent à franchir la distance entre le tube et la coupure ; leur disparition est retardée d'autant, et, si leur vitesse est comparable à celle des ondes hertziennes, l'effet de l'éloignement du tube va être analogue à celui d'un allongement des fils, c'est-à-dire une augmentation de l'action effective des rayons X sur l'étincelle. Blondlot fut, par ce raisonnement, amené à cette prévision paradoxale : *le tube à rayons X doit agir plus de loin que de près.* L'expérience la confirma complètement : l'éclat de l'étincelle augmente à mesure qu'on en éloigne le tube ; cette augmentation d'éclat est bien due aux rayons X, car, si l'on remplace la lame d'aluminium interposée entre la coupure et le tube par une lame de plomb, même beaucoup plus petite, ou par une lame de verre, l'effet disparaît, l'étincelle devient aussitôt plus faible et demeure invariable quelle que soit la distance du tube.

Prenons maintenant des fils de transmission ayant une plus grande longueur, 80 centimètres, par exemple. Quand on éloigne le tube, il se trouvera, pour une certaine distance, que les rayons X posséderont leur pleine intensité à la coupure pendant tout le temps que la force électrique conserve une valeur notable (voir fig. 239) ; l'efficacité d'action des rayons

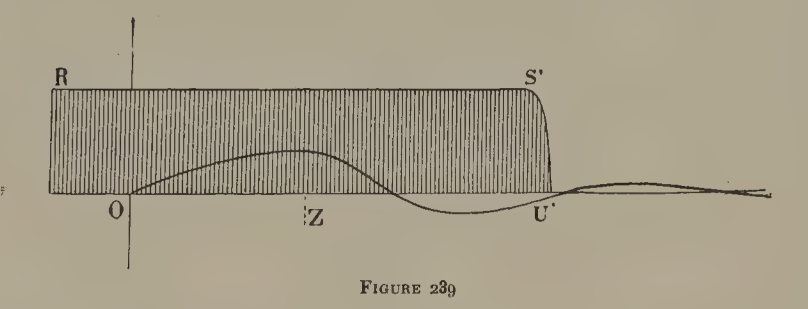


FIGURE 239

X sera alors aussi grande que le permet leur intensité. Si alors on continue à éloigner le tube, on n'améliorera plus la coïncidence entre la présence des rayons X et celle de la force électrique à la coupure, et l'on perdra de plus en plus comme intensité des rayons X ; par conséquent l'action des rayons X aura passé par un *maximum*. C'est ce que l'on constate effectivement : le maximum a le même aspect que les ventres dans les expériences de Hertz ; il est bien dû aux rayons X, car il disparaît et l'étincelle redevient d'un éclat invariable si l'on arrête les rayons X par un petit disque de plomb mis à la place du disque ordinaire d'aluminium. Avec des fils de 80 centimètres, le maximum est à 53 centimètres environ de la coupure.

L'existence du maximum d'action des rayons X sur l'étincelle a été prévue dans la supposition que la vitesse des rayons X et celle des ondes hertziennes sont du même ordre de grandeur. Cette prévision paradoxale s'est

trouvée vérifiée par l'expérience et l'on ne voit pas d'explication possible du phénomène en dehors de la supposition qui y a conduit. On est ainsi amené à conclure que *la vitesse de propagation des rayons X est bien du même ordre de grandeur que la vitesse des ondes hertziennes, c'est-à-dire la vitesse de la lumière.*

§ 4. — Mesure de la vitesse des rayons X : elle est égale à celle de la lumière.

Soient $V \frac{\text{c. m.}}{\text{sec.}}$ la vitesse de propagation des ondes hertziennes dans l'air et $V' \frac{\text{c. m.}}{\text{sec.}}$ celle des rayons X. Après avoir déterminé la position du tube qui donne le maximum d'étincelle, allongeons les fils de transmission de α centimètres : la disparition des rayons X à la coupure est ainsi retardée de $\frac{\alpha}{V}$ sec. ; il faudra donc, pour rétablir la coïncidence des temps et retrouver le maximum, diminuer la distance du tube à la coupure d'une longueur β telle que $\frac{\beta}{V'} = \frac{\alpha}{V}$. L'expérience donne $\frac{\beta}{\alpha}$ et par cela même $\frac{V'}{V}$.

Des expériences extrêmement nombreuses et dans lesquelles on a fait varier α dans des limites aussi étendues que cela était possible, ont invariablement donné à Blondlot $\beta = \alpha$. D'où il résulte que $V' = V$ au degré d'exactitude que comporte la détermination de la position du tube qui rend l'étincelle maximum.

R. Blondlot a vérifié que les valeurs de β sont indépendantes de la forme et de la grandeur du résonateur : par exemple, il est indifférent de prolonger le résonateur par une petite ligne de transmission formée de deux fils accolés, longs de 12 centimètres.

En remplaçant α et β par la moyenne des valeurs obtenues dans une série de détermination, on trouve $\frac{V'}{V} = 0,99$. Dans toutes les séries, on trouve des valeurs très voisines de la précédente, et la moyenne de l'ensemble de toutes les déterminations est extrêmement voisine de l'unité.

§ 5. — Seconde méthode et vérifications diverses.

Dans une seconde méthode, R. Blondlot compense encore le temps employé par les rayons X pour franchir une certaine distance au moyen du temps employé par les ondes électro-magnétiques pour parcourir une certaine longueur de fil, mais ici ce n'est plus le fil de ligne AH que l'on allonge ou raccourcit, c'est la longueur de fil du résonateur.

Entre la partie rectiligne qui avoisine l'excitateur et la coupure où

éclate l'étincelle, on intercale une petite ligne convenablement repliée. L'action de l'excitateur sur le résonateur y produit une onde hertzienne qui doit parcourir une certaine longueur de fil pour aboutir à la coupure du résonateur et y déterminer l'étincelle. Si donc la longueur de fil de chaque moitié du résonateur surpasse de a centimètres sa longueur primitive, la production de l'étincelle est retardée de $\frac{a}{V}$ sec. et, pour obtenir le maximum d'étincelle, il faudra que la distance du tube à la coupure soit plus grande de b centimètres, que quand le résonateur était plus court, et b satisfait à $\frac{b}{V'}=\frac{a}{V}\cdot$ On calcule $\frac{V'}{V}$ par $\frac{b}{a}\cdot$ On remplace d'ailleurs b et a par les moyennes des différentes expériences ; un très grand nombre d'expériences concordantes, dans lesquelles on a fait varier a de 0 à 25 centimètres, ont donné $\frac{V'}{V} = 0{,}93$. Cette valeur s'accorde suffisamment avec les résultats de la première méthode, qui semble d'ailleurs plus précise, le retard des ondes hertziennes y paraissant mieux défini.

L'ensemble de *tous* les résultats expérimentaux peut se résumer en disant : si à la longueur des fils de transmission on ajoute la distance du tube à la coupure qui donne le maximum d'étincelle et que l'on en retranche, s'il y a lieu, la longueur de la petite ligne supplémentaire ajoutée au résonateur, on obtient la longueur constante 133 centimètres.

Remarquons que, dans l'une et l'autre méthodes, le rapport $\frac{V'}{V}$ est obtenu sans que l'on ait besoin de connaître le détail des phénomènes : ce sont des méthodes de *substitution*, analogues à la méthode de Borda pour les pesées.

R. Blondlot a encore vérifié que si l'on modifie le dispositif de façon à augmenter la durée de transmission des ondes hertziennes, la position du tube qui donne le maximum d'étincelle se trouve plus rapprochée de la coupure ou même, si le retard est trop grand, le maximum n'existe plus. La première circonstance s'est présentée quand on retardait les ondes hertziennes en les faisant propager presque exclusivement dans un diélectrique (caoutchouc entourant les deux fils de transmission rapprochés sur une longueur de 40 centimètres, le maximum se rapprochant alors de 11 à 12 centimètres). La seconde circonstance s'est présentée en intercalant un condensateur sur le trajet des fils de transmission.

De plus, si les fils de transmission, longs habituellement de 80 centimètres, sont allongés de 57 centimètres, la position du tube correspondant au maximum d'étincelle, qui était d'abord à 53 centimètres seulement de la coupure, n'existe plus désormais, et l'étincelle diminue constamment quand on éloigne le tube. Inversement, la longueur des fils étant réduite à 64 centimètres, l'étincelle augmente toujours quand on éloigne le tube jusqu'à ce que les fils soient tendus ; le même résultat s'observe avec des fils plus courts.

§ 6. — **Conclusions.**

En résumé, en supposant *a priori* l'égalité des vitesses de propagation des rayons X et des ondes hertziennes, R. Blondlot a été conduit à prévoir que, dans son dispositif, l'action du tube à rayons X sur l'étincelle devait passer par un maximum pour une certaine distance du tube. L'expérience a confirmé cette prévision. — La même supposition a permis de calculer d'avance les déplacements que la position du tube correspondant à ce maximum devait éprouver par l'allongement des fils de transmission ou par l'annexion d'une petite ligne au résonateur ; on devait, en effet, pouvoir compenser le temps employé par les ondes pour parcourir une certaine longueur de fil par le temps employé par les rayons X pour franchir une distance égale. Cette compensation s'est produite en réalité : des deux méthodes employées, l'une a donné pour le rapport des vitesses, après une correction relative au revêtement isolant des fils de transmission, 0,97 et l'autre 0,93. — D'autre part, il paraît impossible de trouver une autre explication du maximum d'éclat de l'étincelle, des déplacements de la position correspondante du tube et des autres particularités de ces phénomènes.

L'ensemble de tous ces faits conduit donc à cette conclusion remarquable que la vitesse de propagation des rayons X est égale à celle des ondes hertziennes, ou à celle de la lumière dans l'air. C'est un des plus importants résultats que les physiciens aient obtenu concernant les rayons X depuis la découverte de Röntgen.

G. Sagnac,
Professeur à l'Université de Lille.

CHAPITRE V

ACTIONS CHIMIQUES DES RAYONS X

§ 1. — Action sur les substances fluorescentes.

Un écran au platino-cyanure de baryum, soumis à l'action prolongée des rayons X, subit de leur part une modification chimique se traduisant par un brunissement très marqué, accompagné d'une diminution de la fluorescence, et cette altération persiste indéfiniment à l'obscurité.

Le sel ainsi modifié a acquis une propriété nouvelle : il est devenu sensible à la lumière ; l'action de celle-ci ramène complètement le platino-cyanure à son état primitif, le régénère en un mot, produisant ainsi un effet chimique exactement inverse du précédent, et cette double transformation peut être effectuée un grand nombre de fois avec le même écran. Les rayons lumineux efficaces dans cette expérience forment trois groupes distincts appartenant au rouge, au jaune et au vert du spectre.

Le platino-cyanure de potassium se comporte à peu près de même.

Pour observer ces phénomènes, il suffit d'exposer devant un tube de Crookes en activité un écran sur lequel on a posé des lames métalliques d'épaisseurs diverses formant réserves. Au bout d'une demi-heure environ, l'écran est comme roussi dans toutes les parties non protégées ; sous les lames minces on a des demi-teintes, de telle sorte que les objets ont donné sur l'écran une véritable radiographie. L'effet est beaucoup plus apparent lorsqu'on éclaire ensuite l'écran par les rayons X ; les régions brunies apparaissent sombres, celles qui avaient été protégées par les obstacles se détachent nettement en clair avec la teinte habituelle. On peut préparer ainsi de véritables paysages phosphorescents.

Une exposition prolongée à la lumière solaire fait disparaître toutes ces impressions.

Le verre lui-même, bien que peu phosphorescent aux rayons X, est très sensiblement modifié par eux ; il devient violet. L'observation de ce fait est facile sur les tubes de Crookes qui ont servi quelque temps, pourvu qu'ils ne soient pas en verre plombeux, qui brunit par l'action des rayons

cathodiques, ce qui masque la teinte violette. L'ombre d'un obstacle opaque aux rayons X peut être ainsi fixée sur la paroi d'un tube de Crookes en une heure environ.

La seule conséquence pratique qu'on puisse actuellement tirer de ces phénomènes est que les écrans au platino-cyanure de baryum ne doivent pas être enfermés à demeure dans les appareils d'observation. Il est nécessaire de les exposer de temps en temps à la lumière du jour pour leur restituer leur sensibilité primitive et les maintenir en bon état.

§ 2. — **Action sur les préparations photographiques.**

L'antagonisme chimique entre les rayons X et la lumière se retrouve, plus compliqué peut-être, mais beaucoup plus apparent, quand on substitue à l'écran fluorescent une plaque photographique au gélatino-bromure d'argent.

Si on développe une plaque sensible préalablement impressionnée par les rayons X et dont une moitié a été ensuite exposée à la lumière, on constate que cette moitié devient au développement beaucoup moins noire que l'autre ou même reste tout à fait blanche. Avec certaines émulsions qui conviennent tout particulièrement pour ce genre d'expériences, la destruction de l'impression préalable est déjà appréciable après une demi-seconde d'exposition à la lumière du jour ; elle est complète en 15 à 20 secondes.

Pour que les résultats soient parfaitement nets, il convient que la plaque ait été soumise aux rayons X pendant quinze secondes au moins, à 20 centimètres d'un bon tube de Crookes. Une pose trop réduite ne modifierait pas assez complètement le bromure d'argent et la lumière agirait partiellement à la manière ordinaire.

Les radiations particulièrement actives dans cette expérience sont, en premier lieu, celles auxquelles le bromure d'argent est sensible dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire le bleu et le violet, et en second lieu tout le reste du spectre avec un maximum dans le rouge. L'action continue dans l'infra-rouge jusque vers la longueur d'onde $0_{\mu},900$.

La sensibilité ainsi acquise par le sel d'argent pour les rayons à grande longueur d'onde permet de photographier sans difficulté une région du spectre à peu près inaccessible aux plaques même orthochromatiques. De plus il devient possible de photographier des objets au travers de corps réellement opaques pour le spectre visible, de plusieurs feuilles de papier noir par exemple, alors qu'une plaque ordinaire ne donne rien dans les mêmes conditions. Une source n'émettant que de l'infra-rouge et par suite complètement obscure peut être photographiée par ce procédé.

Cette action, en quelque sorte destructive, exercée par la lumière, permet de réaliser diverses expériences qui la rendent tout à fait manifeste :

On soumet aux rayons X, pendant une demi-minute, une plaque sensible

et on la place ensuite dans un appareil photographique ordinaire dont on dirige l'objectif sur un sujet quelconque, un paysage par exemple. Les lumières du modèle détruisent l'impression produite par les rayons X, d'autant plus complètement qu'elles sont plus intenses ; dans les parties sombres de l'image la destruction est au contraire nulle ou très faible, les demi-teintes produisent un effet intermédiaire. Avec une durée de pose suffisante (30 secondes environ), on obtient ainsi au développement une image positive directe dont les noirs représentent ce qui est resté de l'impression par les rayons X. Cette épreuve est en général meilleure qu'un positif ordinaire, parce que la plaque est devenue presque uniformément panchromatique. L'emploi d'un écran jaune est ainsi tout indiqué pour faire disparaître le maximum de sensibilité dans le bleu. Dans cette expérience, il y a peu à redouter que le cliché voile au développement, et celui-ci peut s'effectuer dans un laboratoire éclairé par une forte lumière jaune ou par une bougie.

Comme révélateur, on peut employer soit l'oxalate de fer, qui donne de bons résultats, soit l'hydroquinone et les corps analogues.

La même propriété peut être utilisée pour obtenir, avec un positif sur verre par exemple, un contre-type direct également positif, qui sera naturellement symétrique du modèle s'il est obtenu par application. On évite ainsi d'avoir à faire successivement un cliché négatif et un positif. Il est seulement nécessaire de se mettre à l'abri des rayons infra-rouges qui traversent facilement les noirs du cliché à reproduire : on emploie pour cela un verre vert.

L'action de la lumière sur une plaque impressionnée par les rayons X permet de faire directement une radiographie positive :

La première partie de l'expérience se fait comme à l'ordinaire, avec la durée de pose qui serait suffisante pour obtenir une épreuve vigoureuse. On expose ensuite la plaque à la lumière juste assez longtemps pour détruire complètement l'impression produite par les rayons X. Dans ces conditions, l'image s'inverse : les régions qui ont subi l'action des rayons X directement sont ramenées à l'état neutre et ne donneront rien au développement. Là au contraire où le bromure d'argent a été protégé par les objets radiographiés, la lumière produit son effet ordinaire, qui se traduira par du noir sous l'action du révélateur. Les demi-teintes produisent un effet intermédiaire et on obtient une radiographie dans laquelle les objets opaques aux rayons X apparaissent en noir sur fond blanc.

L'exposition à la lumière ne doit pas être exagérée, sinon il y a solarisation des noirs de l'image et l'épreuve est peu intense. Aussi est-il avantageux de se servir d'une lumière artificielle, avec laquelle la durée de pose est facile à déterminer une fois pour toutes. Avec un bec Auer placé à 50 centimètres de la plaque 40 à 50 secondes suffisent généralement.

La totalité de la plaque devant être exposée à la lumière, le développement peut à la rigueur être effectué en plein jour, devant une fenêtre ; mais il est évidemment préférable de ne pas accroître les difficultés de l'opération,

et il vaut mieux développer dans un endroit sombre éclairé soit indirectement par la lumière du jour, soit par une lampe ou une bougie.

Les plaques sensibles au bromure d'argent n'étant pas préparées en vue de cette application toute spéciale, fort peu donnent de bons résultats : parmi celles que nous avons essayées, les meilleures au point de vue dont il s'agit paraissent être les plaques Jougla à étiquette verte ; c'est évidemment là une circonstance tout à fait fortuite.

Cette propriété des plaques photographiques peut dans certains cas rendre quelques services : elle rend possible en effet la suppression du cabinet noir, et permet de développer sur place une radiographie faite hors du domicile de l'opérateur. L'installation préalable des plaques dans les châssis ou les enveloppes de papier noir peut toujours être faite d'avance en profitant de la soirée et s'éclairant alors avec une lanterne à verre rouge. Les autres opérations, radiographie, inversion de l'image et développement se font comme nous l'avons dit, sans autre précaution que de s'abriter de la lumière directe du jour. Avec un peu d'habitude on arrive aisément à faire de bonnes radiographies positives de la main et du bras. Aucune raison ne s'oppose à ce qu'il en soit de même avec les autres parties du corps. La seule difficulté consiste dans l'évaluation suffisamment exacte des deux temps de pose.

P. VILLARD,
Docteur ès sciences.

LIVRE II

LES RAYONS APPLIQUÉS A LA MÉDECINE ET A LA CHIRURGIE

PREMIÈRE PARTIE

PARTIE TECHNIQUE

I. — UTILISATION DES PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES RAYONS X EN MÉDECINE RADIOSCOPIE ET RADIOGRAPHIE

CHAPITRE PREMIER

L'ÉCRAN ET L'IMAGE FLUOROSCOPIQUE. — RADIOSCOPIE.

La propriété que possèdent les rayons de Röntgen de provoquer la *luminescence* de certains corps a été précédemment étudiée. Cette propriété est devenue le point de départ de la *radioscopie*, l'un des deux procédés d'investigation dont le professeur Röntgen a enrichi l'art médical. Il a lui-même pratiqué le premier examen radioscopique le jour mémorable où, plaçant la main entre une ampoule de Crookes et une feuille de papier enduite de platino-cyanure de baryum, il a vu sur cette feuille devenue fluorescente se projeter en noir l'ombre du squelette de la main, tandis que l'ombre des parties molles, plus perméables aux mystérieuses radiations dont il venait de découvrir l'existence, n'était que faiblement accusée.

Les divers organes et les divers tissus du corps humain sont, suivant leur épaisseur et leur composition chimique, très inégalement perméables aux rayons de Röntgen. Interposés entre un foyer de rayons de Röntgen et un écran couvert d'une substance luminescente, ils provoquent donc, sur la surface illuminée par ces rayons invisibles, l'apparition d'ombres très inégalement teintées. Ainsi se forment sur l'écran luminescent les images radioscopiques des organes profonds, invisibles à nos yeux. Ce ne sont autre chose que des *ombres portées*. Elles présentent de grandes analogies avec les images si connues, formées par l'interposition de corps opaques entre un

foyer lumineux et un écran translucide dans le jeu dit des *ombres chinoises*. Les images fournies par les rayons de Röntgen sont seulement beaucoup plus complexes, ce sont des ombres superposées de teintes différentes. Ainsi, dans l'image radioscopique de la main, l'ombre plus foncée du squelette, projetée comme s'il existait seul, se superpose à la silhouette plus claire des parties molles. Chacune de ces ombres superposées n'en demeure pas moins soumise pour sa part aux conditions géométriques qui président à l'apparition des ombres en général.

Une étude théorique de la radioscopie est l'introduction nécessaire à la pratique de ce nouveau mode d'examen et à l'exposé des services qu'il rend aux sciences médicales. Elle doit comprendre successivement :

1° L'étude morphologique des écrans luminescents envisagés au point de vue de leur structure, de leur fabrication et de leur mode de montage;

2° L'étude fonctionnelle des écrans luminescents considérés comme sources de lumière ;

3° L'étude physiologique de l'œil humain devant les écrans luminescents au cours de l'examen radioscopique ;

4° L'étude physique des images perçues par l'œil sur les écrans luminescents.

§ 1. — Les écrans luminescents.

Tous les écrans luminescents se composent essentiellement d'un corps luminescent étendu en couche mince et régulière à la surface d'un support très perméable aux rayons de Röntgen.

Les corps luminescents se divisent, on le sait, en deux catégories : d'une part, les corps *phosphorescents* dont l'illumination persiste pendant un temps appréciable après que l'excitation provocatrice a cessé de se produire; d'autre part, les corps *fluorescents* dont l'illumination disparaît aussitôt que cesse l'excitation, ou du moins met à s'éteindre un temps trop court pour être mesurable.

Les écrans luminescents, suivant la nature phosphorescente ou fluorescente du corps dont ils sont formés, se partagent donc en deux groupes d'importance fort inégale : les *écrans phosphorescents* et les *écrans fluorescents*. Les uns et les autres sont souples ou rigides suivant la matière dont est fait leur support.

Écrans phosphorescents. — Les diverses substances qui peuvent entrer dans la composition des écrans phosphorescents ont fait l'objet des recherches de M. Ch. Henry. Parmi ces substances, la meilleure paraît être le sulfure de zinc.

Une expérience de cours, d'un succès toujours certain, consiste à exposer pendant quelques minutes un écran de sulfure de zinc à l'action d'une ampoule de Crookes en interposant la main sur le trajet des rayons de

Röntgen, puis dans l'obscurité, à faire circuler parmi les assistants l'image radioscopique de la main, temporairement fixée sur cet écran; elle y demeure assez longtemps pour que tous aient le loisir de la bien voir avant son extinction graduelle.

Cette propriété des écrans phosphorescents de fixer pendant un temps très appréciable les images radioscopiques trouvera peut-être quelque jour son application, mais elle met obstacle à l'exploration des organes animés de mouvements et ne permet même pas de faire avec rapidité l'examen successif de diverses régions. De fait, les écrans phosphorescents ne sont d'aucune utilité pratique en radioscopie médicale (1).

Écrans fluorescents. — Seuls, les écrans fluorescents servent à l'examen radioscopique du corps humain. Aussi le mot *fluoroscopie* est-il assez souvent en usage pour désigner le mode d'exploration pratiqué à l'aide de ces écrans.

L'appellation de *radioscopie* me paraît cependant préférable, non seulement parce qu'elle est d'un sens plus étendu et comprend l'emploi de toutes les substances luminescentes, sans exception, mais aussi parce que l'adoption de ce terme donne, avec une désinence distincte, suffisamment significative, un même radical aux noms qui désignent la science nouvelle issue de la découverte de Röntgen, la *radiologie*, et les divers fruits de cette découverte, la *radioscopie*, la *radiographie* et la *radiothérapie*.

On sait que le premier examen radioscopique a été pratiqué à l'aide d'un écran fluorescent de platino-cyanure de baryum. A cette substance fluorescente, on peut en substituer plusieurs autres telles que le platino-cyanure de potassium, le sulfure de calcium, le sulfure de strontium, le tungstate de calcium pur ou mélangé au tungstate de manganèse. De ces diverses substances, le platino-cyanure de baryum est encore celle qui donne les meilleurs résultats. Aussi tous les écrans fluorescents, de fabrication courante, sont-ils formés d'un support, souple ou rigide, à la surface duquel est fixée une couche très mince et très homogène de platino-cyanure de baryum, à raison de 3 grammes et demi environ par décimètre carré (2). Pour les écrans souples, le support est un tissu à mailles serrées ou de la gélatine mêlée d'un peu de collodion et coulée sur une glace. Pour les écrans rigides, ce pourrait être une plaque mince de bois, d'aluminium ou de verre ; c'est généralement une mince feuille d'un carton exempt de toute impureté ou une feuille de papier parcheminé.

(1) Par contre, ils servent, en radiographie, comme écrans renforçateurs.

(2) Cependant Williams, de Boston, dont un ouvrage récent (*The Röntgen rays in medecine and surgery as an aid in diagnosis and as a thérapeutic agent*, 1902, 2e édition, p. 55) préconise, pour l'examen radioscopique du cœur et des poumons, l'emploi des écrans au tungstate de calcium, en raison de leur coloration blanche et de leur fluorescence moins brillante que celle du platino-cyanure de baryum. Avant d'adopter un écran au tungstate de calcium, il convient de s'assurer qu'il est seulement fluorescent et se montre entièrement dépourvu de propriétés phosphorescentes.

La plus grande difficulté consiste à obtenir le platino-cyanure de baryum sous la forme d'une poudre fine dont chaque grain doit conserver une structure nettement cristalline, si l'on ne veut pas qu'il perde une grande partie de ses propriétés fluorescentes. On y parvient en faisant lentement évaporer, pendant plusieurs semaines, des solutions très étendues de ce sel d'abord purifié par toute une série de cristallisations et de dissolutions successives. Vient ensuite la confection proprement dite de l'écran, c'est-à-dire la fixation des cristaux de platino-cyanure de baryum à la surface du support, à l'aide d'une sorte de colle ou de vernis. Diverses substances telles que la gélatine, la gomme arabique, le collodion riciné, le collodion à l'acétate d'amyle, le celluloïd, etc., peuvent être employés dans ce but ; on se sert le plus habituellement d'un mélange d'acétate d'amyle, d'acétone et de collodion. Cette fixation s'obtient par plusieurs procédés dont voici les deux principaux. Ou bien on se sert d'un tamis à mailles très fines pour saupoudrer bien également avec les cristaux de platino-cyanure toute la surface du support, préalablement enduit de la substance adhésive à l'état liquide, ou bien les cristaux, mélangés à cette substance en dissolution forment avec elle une émulsion qu'on verse sur le support horizontalement placé. Dans les deux cas, l'opération s'achève par la dessiccation de la substance adhésive ; suivant que le platino-cyanure de baryum est en cristaux plus ou moins fins, qu'il forme à la surface du support une ou plusieurs couches, que l'épaisseur du vernis est plus ou moins grande, la face fluorescente de l'écran, qui présente la couleur jaune vert de ce sel, se montre soit avec l'apparence d'une surface laquée, soit avec l'aspect très finement grenu et cristallin. Il est très utile de recouvrir l'autre face du support d'une couche de papier noir impénétrable à la lumière ; ce papier noir empêche les rayons lumineux provenant de la fluorescence de l'ampoule de venir, au travers du carton translucide, troubler la netteté des ombres radioscopiques formées sur l'écran.

Les écrans à support de carton ou de papier parcheminé sont habituellement tendus et fixés sur un cadre de bois, qui les maintient et les préserve, grâce à la saillie de ses bords, de tout contact nuisible.

La face fluorescente de l'écran est parfois recouverte d'une plaque de cristal, qui la préserve de la poussière en même temps qu'elle protégerait, dit-on, les yeux de l'observateur contre l'action nocive des rayons de Röntgen. L'utilité de cette glace est contestable, sinon quand elle sert de soutien au papier à calque, sur lequel on fixe au crayon, en quelques instants, les principaux traits d'une image radioscopique. Pour cet objet, une simple lame de verre est suffisante, il est bon qu'elle puisse être rapidement enlevée et replacée, à volonté.

L'emploi des écrans fluorescents exige l'obscurité. Dans les cas où l'obscurité n'est que très difficilement réalisable, on peut adapter l'écran à une petite chambre noire portative dont il forme le fond, tandis que l'avant de cette chambre offre aux yeux de l'observateur une ouverture exactement ajustée au contour des orbites. Ce mode de montage de l'écran, qui cons-

titue le fluoroscope d'Edison, ne doit jamais être qu'un pis aller, on en verra plus loin la raison.

Pendant assez longtemps, presque tous les écrans fluorescents étaient de fabrication allemande et portaient la marque Kalbaum, puis on a trouvé dans le commerce des écrans de fabrication anglaise (Dean), dont la fluorescence est remarquable ; enfin, une maison française, la maison Caplain-Saint-André, fabrique maintenant des écrans qui rivalisent heureusement avec les précédents.

§ 2. — **Fonctionnement des écrans.**

Les écrans luminescents, sous l'action des rayons de Röntgen, deviennent des sources de lumière comparables aux bougies et aux lampes qui éclairent nos appartements. La lumière provenant des écrans fluorescents est une lumière complexe, formée de radiations inégalement réfrangibles et dont la composition se rapproche plus ou moins de celle du spectre solaire suivant la nature du corps fluorescent qui les recouvre. Pour connaître la composition de la lumière émise par un écran au platino-cyanure de baryum, il est nécessaire de l'examiner au spectroscope. L'emploi d'un de ces petits spectroscopes à main qui servent aux recherches cliniques suffit pour constater que le spectre du platino-cyanure de baryum ne contient pas seulement, comme il était facile de le prévoir, des radiations jaunes et vertes, mais qu'il est riche en radiations bleues et violettes, ce qui présente, on le verra plus loin, quelque importance.

Les conditions qui font varier l'illumination d'un écran tiennent soit à l'écran lui-même, soit à l'ampoule de Crookes et à sa situation dans l'espace par rapport à l'écran.

Tous les écrans au platino-cyanure de baryum, sous l'influence de la même excitation, ne deviennent pas également lumineux. Il existe à cet égard entre des écrans de provenances diverses, d'assez grandes différences explicables par la pureté du sel fluorescent, son état amorphe ou cristallin, les dimensions de ses cristaux et les soins apportés à leur répartition à la surface du support. La pureté chimique du platino-cyanure de baryum paraît un facteur capital de sa fluorescence ; les écrans dont la couleur est le plus franchement verte sont d'ordinaire les meilleurs.

Un même écran ne possède pas en tout temps le même pouvoir fluorescent. M. Villard a fait à ce sujet de très curieuses observations ; il a constaté qu'un écran au platino-cyanure de baryum, après avoir été exposé à l'action des rayons de Röntgen, présente, lorsqu'on l'examine à la lumière du jour, une teinte légèrement brune dont sont exemptes les portions qui ont été protégées par une plaque de plomb. Ces portions, demeurées plus claires, deviennent aussi plus lumineuses que les autres, lorsque l'écran est de nouveau soumis à l'action des rayons de Röntgen. Ainsi l'écran a été impressionné par ces rayons et son pouvoir fluorescent s'est affaibli du fait

même de sa mise en action. Mais cette impression n'est pas durable, elle disparaît par une exposition suffisante à la lumière du jour. La règle pratique qui découle de ces observations de M. Villard, c'est que l'écran, lorsqu'il n'est pas employé à l'examen radioscopique, ne doit pas être enfermé dans un étui opaque, mais doit au contraire être exposé à la lumière qui régénère son pouvoir fluorescent.

Une même ampoule, à la même distance d'un écran, l'illumine très différemment suivant la quantité et la qualité des rayons qu'elle produit. L'illumination de l'écran est, toutes choses égales, d'autant plus vive que la production des rayons est plus abondante, c'est-à-dire que la quantité d'énergie électrique qui traverse l'ampoule est plus grande. Cette quantité dépend principalement de la puissance des instruments employés. Elle varie, pour une machine statique donnée, avec la vitesse de rotation des plateaux ; pour une bobine d'induction, avec la tension et l'intensité du courant inducteur, avec le mode et le nombre des interruptions.

Quant à la qualité, c'est-à-dire au pouvoir de pénétration des rayons, son influence sur l'illumination de l'écran n'a pas encore, à ma connaissance, été méthodiquement étudié comme l'a été son influence sur la réduction des sels d'argent contenus dans la couche sensible des plaques photographiques. Suivant toutes les analogies et d'après le principe que les rayons de Röntgen agissent là où ils sont absorbés, il est vraisemblable qu'au delà d'un certain degré de pénétration des rayons, l'éclat de l'écran n'augmente pas, mais diminue plutôt.

Toutes choses égales, l'illumination de l'écran dépend en grande partie de sa distance à l'ampoule radiogène. En effet, l'action des rayons de Röntgen, comme celle de la lumière, comme celle de la chaleur, varie en raison inverse du carré de la distance. L'écran qui brille d'un certain éclat à une distance donnée du foyer d'émission des rayons de Röntgen ne brille donc plus, à une distance double, que d'un éclat quatre fois moindre et, à une distance triple, il est devenu neuf fois moins brillant.

Enfin, les diverses portions de l'écran sont inégalement lumineuses, suivant qu'elles sont frappées plus ou moins obliquement par le faisceau divergent des rayons partis de l'anticathode. Théoriquement, c'est au point d'incidence normale et dans son voisinage que l'écran est le plus vivement illuminé, encore faut-il tenir compte de l'orientation, par rapport à l'écran, du plan de la lame anticathodique, car l'émission des rayons de Röntgen n'a pas lieu dans toutes les directions avec la même intensité.

Telles sont les principales conditions qui modifient la lumière fournie par l'écran fluorescent ou, plus exactement, qui font varier les caractères physiques et objectifs des radiations visibles fournies par l'écran, abstraction faite de la sensation lumineuse qu'elles provoquent.

C'est cette sensation lumineuse, c'est le fonctionnement de l'œil en face de l'écran fluorescent qui restent à étudier maintenant. En effet, comme on l'a dit justement, « c'est l'œil qui crée la lumière ».

§ 3. — La fonction visuelle en radioscopie

Les phénomènes qui vont être étudiés ne relèvent plus, comme les précédents, de la physique, mais de la physiologie.

Le sens de la vue nous sert à percevoir la lumière, les couleurs et les formes. La perception de la lumière et celle des formes entrent seules en jeu dans l'examen radioscopique. Il importe de les séparer soigneusement l'une de l'autre; elles correspondent, en apparence du moins, à deux fonctions différentes de la rétine. La physiologie de la vision en radioscopie comprend donc, d'une part, la sensibilité à la lumière fournie par l'écran fluorescent, la *sensibilité lumineuse*; d'autre part, la faculté de distinguer les limites et les contours des diverses portions inégalement lumineuses de cet écran, ce qu'on appelle communément l'*acuité visuelle* ou parfois la *sensibilité visuelle proprement dite* (Charpentier). Il convient d'y joindre l'étude d'un phénomène qui n'est pas sans importance dans l'examen radioscopique, à savoir la *persistance des impressions rétiniennes*.

Sensibilité lumineuse. — C'est un fait connu de tout le monde qu'après un séjour de quelque temps dans l'obscurité, l'œil est impressionné par de faibles intensités de lumière qui d'abord le laissaient tout à fait insensible. Pour en faire l'expérience, il suffit de passer de la pleine lumière du jour dans une cave faiblement éclairée par un étroit soupirail. On commence par n'éprouver aucune sensation lumineuse; on croit être dans la plus complète obscurité; puis, après quelques minutes, l'œil reçoit des impressions d'abord faibles, qui peu à peu deviennent plus vives, si bien qu'au bout d'un certain temps presque tous les objets contenus dans la cave sont perçus distinctement. Le même phénomène se répète dans l'examen radioscopique et y joue un rôle de premier ordre. Lorsque les appareils producteurs de rayons de Röntgen ne sont pas très puissants et que l'obstacle interposé entre l'ampoule et l'écran est un thorax d'adulte assez volumineux, c'est toujours une surprise, pour celui qui passe de la pleine lumière du jour dans la chambre noire où se fait l'examen, de ne percevoir qu'une très faible lueur émanée de l'écran, sans pouvoir distinguer à sa surface aucune image, tandis que les observateurs entrés dans la chambre quelque temps avant lui voient nettement, par exemple, les images mouvantes qui correspondent aux battements du cœur et aux contractions du diaphragme. C'est seulement après quelques minutes de patience que l'écran semble au nouveau venu s'illuminer et devenir de plus en plus brillant. A son tour, il aperçoit les images que voyaient ses devanciers; bientôt il distingue, à la lumière de l'écran, les personnes et les objets qui l'entourent; souvent même il découvre que de nombreuses fissures laissent pénétrer dans la chambre tout d'abord si obscure en apparence la lumière du jour.

Ce fait si connu, on l'explique communément en disant qu'il faut quelque

temps pour s'habituer à l'obscurité, mais ce n'est pas là une explication. La vérité est que ces variations de la sensibilité lumineuse obéissent à une loi très importante, celle de *l'adaptation lumineuse*. Le minimum de lumière perceptible par un même œil, bien loin d'être fixe, change pour ainsi dire à chaque instant : sa valeur dépend de l'éclairage ambiant moyen auquel cet œil se trouve soumis et adapté au moment de l'expérience. Plus l'éclairage est fort, plus le minimum perceptible est élevé, c'est-à-dire plus la sensibilité lumineuse est faible. Au contraire, plus l'éclairage devient faible, plus le minimum perceptible décroît, c'est-à-dire plus la sensibilité lumineuse augmente. Lorsque l'œil est transporté de la lumière dans l'obscurité, le minimum perceptible décroît avec une vitesse qui suit à peu près la même loi que celle du refroidissement des corps. Le docteur Parinaud a particulièrement étudié, sous le nom d'*adaptation à l'obscur*, l'accroissement de sensibilité qui résulte du séjour de l'œil dans l'obscurité pendant une vingtaine de minutes et constaté qu'il n'est pas le même pour les différentes parties du spectre solaire.

C'est grâce à cette fonction spéciale de l'œil, l'adaptation aux faibles intensités de lumière, que nous pouvons voir encore convenablement avec des éclairages relativement faibles comme celui du crépuscule, de la lune, des étoiles, ou celui des lumières artificielles qui éclairent les rues et les appartements.

La lumière qui provient de l'écran fluorescent est, comme celles qui viennent d'être énumérées, une lumière de faible intensité. Il n'est pas douteux, la plus simple observation le montre, que l'adaptation de l'œil entre en jeu dans l'examen radioscopique et y joue un rôle très important. Il convenait donc de mesurer la sensibilité de la rétine à la lumière fournie par l'écran fluorescent avant, pendant et après l'adaptation. Dans ce but, j'ai fait avec l'aide de mes élèves quelques recherches dont les détails ont été publiés (1) ; j'en rappellerai seulement le principe et les résultats. Le principe est le suivant : l'illumination de l'écran varie, toutes choses égales, en raison inverse du carré de sa distance à l'ampoule ; on compare la sensibilité lumineuse de divers observateurs en déterminant pour chacun d'eux la distance de l'ampoule à laquelle l'écran fluorescent lui fournit le minimum de lumière perceptible; dans tous les cas, le degré de sensibilité cherché est proportionnel au carré de la distance mesurée de l'ampoule à l'écran.

Dans une première série d'expériences, chacun des observateurs, porteur d'un écran fluorescent de dimensions moyennes (30 × 40 centimètres) qu'il tient de ses deux mains verticalement au-devant de ses yeux, à une distance invariable, pénètre à son tour, venant de la pleine lumière du jour, dans la salle assez grande et tout à fait obscure où ont lieu ces recherches. On dirige ses pas dans la direction de l'ampoule, dont la luminescence est

(1) A. Béclère, Etude physiologique de la vision dans l'examen radioscopique. *Archives d'électricité médicale*, n° 82, 15 octobre 1899.

soigneusement dissimulée sous un voile opaque; aussitôt que l'écran lui paraît lumineux, il s'arrête immédiatement et on mesure avec soin la distance du foyer radiogène à l'écran, puis l'observateur retourne à la lumière du jour.

Quand on connaît ainsi, pour chaque observateur venant directement du plein jour, le degré de sa sensibilité rétinienne à la lumière de l'écran, on le fait demeurer pendant cinq minutes dans l'obscurité complète, puis de nouveau on mesure, par la distance du foyer radiogène à laquelle il s'arrête, dès que l'écran lui paraît lumineux, le degré que vient d'atteindre sa sensibilité rétinienne. On recommence l'expérience successivement après qu'il est demeuré dix minutes, quinze minutes, vingt minutes dans l'obscurité complète et chaque fois on mesure le nouveau degré que vient d'atteindre sa sensibilité rétinienne, mais on a soin, après chaque expérience, de le faire retourner à la clarté du jour et de l'y laisser assez longtemps pour qu'il perde le bénéfice de l'adaptation précédemment acquise.

Ces recherches ont permis de mesurer l'importance de l'adaptation de l'œil dans l'examen radioscopique ; elles ont montré l'instabilité de la sensibilité lumineuse, qui varie d'une manière incessante suivant l'adaptation. En raison de cette instabilité, l'évaluation numérique des phénomènes de sensibilité lumineuse est, à vrai dire, illusoire. Aussi les chiffres que j'ai cités pour chaque expérience et que je ne reproduis pas ici, mais auxquels j'étais obligé d'avoir recours, ne peuvent-ils avoir qu'une valeur très relative; on ne saurait prétendre, en pareille matière, à une exactitude mathématique, qu'il est sans doute impossible d'atteindre et dont la poursuite n'ajouterait rien aux résultats cherchés.

Tels qu'ils sont cependant, ces chiffres ont aidé à saisir l'énorme différence qui existe, en face de l'écran fluorescent, entre la rétine non adaptée et la rétine adaptée, l'accroissement presque incroyable de sensibilité que donne à la rétine une obscuration de quelques minutes. On peut dire, d'une façon très générale que, dans les conditions indiquées, après dix minutes d'obscuration, la sensibilité lumineuse devient de 50 à 100 fois plus grande et, qu'après vingt minutes d'obscuration, elle devient 200 fois plus grande qu'au sortir du plein jour; il est donc très vraisemblable, bien que je ne l'aie pas vérifié, que, passé ce délai, elle grandit encore : telle est la notion capitale qui ressort de ces recherches.

L'étude comparée des variations individuelles de la sensibilité rétinienne fournit d'autres notions intéressantes. On voit d'abord que, dans les mêmes conditions apparentes, chez diverses personnes venant du plein jour la sensibilité à la lumière de l'écran est de valeur très inégale ; elle peut être chez certains quatre fois plus grande que chez d'autres. On voit que dans les mêmes conditions apparentes l'accroissement de la sensibilité lumineuse, au cours de l'adaptation, ne suit pas la même marche chez les diverses personnes qui se prêtent à cette étude, alors même qu'au sortir du plein jour, elles possédaient le même degré de sensibilité. On voit que le degré d'accrois-

sement de la sensibilité lumineuse au cours de l'adaptation peut varier d'un jour à l'autre chez la même personne, sous l'influence de conditions diverses qu'il n'est pas toujours facile de déterminer, par exemple sous l'influence de la fatigue. Enfin, tout en tenant compte de ces variations journalières de la sensibilité lumineuse, on voit qu'il subsiste, entre les diverses personnes dont on étudie l'adaptation, une inégalité permanente. Certaines d'entre elles, par la rapidité et l'intensité de leur adaptation, possèdent manifestement sur les autres une supériorité marquée. Un de mes élèves était un exemple remarquable de cette supériorité qui lui rendait de grands services dans l'examen radioscopique des malades; il était toujours le premier à voir apparaître sur l'écran les images caractéristiques. Cependant il était myope et astigmate, ce qui montre que l'adaptation est une fonction tout à fait indépendante de l'état de la réfraction oculaire. Avant de prendre part à des examens radioscopiques, ce jeune homme avait déjà eu occasion, pendant son année de service militaire, au cours des exercices de nuit, de constater sa remarquable supériorité sur tous ses camarades, au point de vue de l'adaptation aux faibles intensités de lumière; c'était un véritable *nyctalope*, et la nyctalopie était chez lui héréditaire.

Par contre, j'ai cru pouvoir prédire que les personnes atteintes d'*héméralopie*, c'est-à-dire présentant une diminution anormale ou une abolition de cette fonction spéciale de l'adaptation de l'œil aux faibles intensités de lumière, feraient preuve, dans l'examen radioscopique, d'une très notable infériorité. Je n'ai encore eu occasion de rencontrer qu'un seul héméralope, mais il a pleinement justifié mes prévisions : quelles que soient les conditions de l'expérience, sa sensibilité à la lumière de l'écran demeure toujours beaucoup au-dessous de la sensibilité observée chez les sujets normaux.

Les notions qui précèdent n'ont pas seulement un intérêt de curiosité, il en résulte un certain nombre de conséquences pratiques pour les médecins désireux d'avoir recours à la radioscopie comme moyen de diagnostic. La première, c'est qu'ils ne sont pas tous également doués pour ce genre d'examen ; chacun a donc intérêt à connaître son degré de sensibilité à la lumière de l'écran.

Une autre conséquence, c'est que pour l'examen radioscopique le choix de l'heure, la recherche de certaines conditions ont une importance capitale, surtout dans le cas où les appareils producteurs de rayons de Röntgen n'ont pas une grande puissance. A l'hôpital, où les examens ont lieu le matin, le passage brusque du plein jour à l'obscurité constitue une condition très défectueuse. Pour y remédier, il est nécessaire ou bien que le médecin ait la patience d'attendre, pendant quelques minutes, que son œil soit convenablement adapté, ou bien que des appareils très puissants suppléent par une intense illumination de l'écran à l'insuffisance d'adaptation de l'observateur. C'est après le coucher du soleil qu'il est préférable, quand cela est possible, de pratiquer l'examen radioscopique ; à ce moment l'œil est déjà plus ou moins adapté. Il importe aussi d'éviter tout ce qui peut diminuer l'adapta-

tion acquise. Dans la pièce où a lieu l'examen, l'obscurité doit être aussi complète que possible. Il convient de dissimuler soigneusement la luminescence de l'ampoule. Il convient aussi, par l'emploi d'un écran de dimensions moyennes ou mieux à l'aide d'un diaphragme iris permettant de limiter à volonté la surface éclairée de l'écran, d'éviter qu'une trop grande étendue de la source lumineuse n'affaiblisse l'adaptation. Enfin, le médecin a tout avantage pendant l'interrogation du malade qui précède habituellement l'examen ou dans l'intervalle de deux examens, à n'exposer ses yeux qu'à une lumière de très faible intensité (1). Tout ce qui précède fait comprendre combien une véritable chambre noire est préférable pour l'examen radioscopique aux fluoroscopes à main dont l'emploi ne doit jamais constituer qu'un pis aller.

Une autre conséquence non moins importante, c'est que s'il y a grand intérêt à ce qu'un hôpital, un établissement d'enseignement médical possèdent des appareils très puissants pour la production des rayons de Röntgen, la même nécessité ne s'impose pas au médecin praticien. Ce dernier peut fort bien se contenter d'appareils moins puissants, partant moins encombrants et surtout moins coûteux. S'il a soin de prendre toutes les précautions convenables pour pratiquer l'examen radioscopique avec un œil bien adapté, il obtiendra, à l'aide d'instruments très simples, d'excellents résultats comparables à ceux que donnent, sans adaptation préalable, les meilleurs foyers radiogènes. Qu'importe, en effet, une différence du simple au double dans la longueur de l'étincelle que peut fournir une machine statique ou une bobine d'induction, si c'est au centuple et deux fois au centuple que l'adaptation fait grandir la sensibilité lumineuse? C'est ainsi qu'une machine statique de Wimshurst à six plateaux, simplement mue à la main et assez peu volumineuse pour être très facilement transportable, suffit pour donner sur l'écran fluorescent, à des yeux convenablement adaptés, une excellente image des organes thoraciques.

Une dernière conséquence, c'est qu'il importe de ne pas oublier l'instabilité de la sensibilité lumineuse et ses incessantes variations toutes les fois qu'on est tenté d'évaluer la puissance radiogène d'une ampoule d'après l'illumination apparente de l'écran fluorescent.

Dans la pratique, au cours de l'examen radioscopique, la surface de l'écran n'est pas, comme dans les expériences dont il vient d'être question, à peu près également lumineuse sur toute son étendue. Tout au contraire, cette surface est formée d'un assemblage de diverses portions dont la luminescence est très inégalement mise en jeu, suivant l'épaisseur et la composition chimique des obstacles interposés entre chacune d'elles et le foyer des rayons de Röntgen : telle est la constitution des images radioscopiques. Ces diverses portions de l'écran fournissent des radiations, dont les caractères

(1) C'est ainsi qu'il peut, suivant le conseil d'Holzknecht, porter, dans l'intervalle des examens, un lorgnon à verres fumés.

physiques et objectifs sont distincts, mais qui ne provoquent pas nécessairement chez l'observateur des sensations lumineuses distinctes. Pour que l'œil perçoive une différence entre deux lumières d'inégale intensité, il faut, on le sait, que les intensités de ces deux lumières soient entre elles dans un certain rapport ; on sait aussi que ce rapport est loin d'être toujours le même, mais présente au contraire de très grandes variations suivant que l'œil est faiblement ou fortement excité. C'est ainsi qu'avec un faible éclairage et un foyer lumineux très petit, on peut confondre entre elles deux lumières, dont l'intensité diffère dans le rapport de 1 à 9 (Charpentier), tandis que, dans les conditions les plus favorables, on peut arriver à distinguer deux lumières dont l'intensité diffère seulement de $\frac{1}{167}$ (Helmoltz), ou même de $\frac{1}{186}$ (Aubert). La connaissance de ces phénomènes permet de comprendre comment, au cours d'un examen radioscopique, deux observateurs placés devant le même écran fluorescent, sont très différemment aptes à distinguer les portions inégalement illuminées de cet écran, s'ils ne possèdent pas le même degré de sensibilité lumineuse, et, comment le même observateur, à mesure que sa sensibilité grandit par l'adaptation, perçoit un plus grand nombre de parties diversement teintées dans l'image qu'il voit sur l'écran.

Le nombre et la valeur relative des diverses teintes dont paraît composée l'image radioscopique ne varient pas seulement aux yeux de l'observateur suivant le degré de sa sensibilité lumineuse, et suivant l'intensité de l'excitation qui met en jeu la fluorescence de l'écran. Un troisième facteur intervient, c'est le pouvoir de pénétration des rayons de Röntgen, qui varie avec la résistance électrique de l'ampoule. Étant données deux ampoules semblables de résistance très inégale reliées chacune avec une source distincte d'électricité, il est possible de régler la quantité d'énergie électrique qui les traverse de telle sorte que deux écrans fluorescents, éclairés chacun par l'une d'elles, soient également lumineux ; mais si deux corps identiques de structure complexe, sont pareillement interposés chacun entre l'ampoule et l'écran correspondant, ils produisent des images radioscopiques qui, bien que géométriquement semblables, diffèrent beaucoup aux yeux de l'observateur par le nombre et la valeur relative des teintes dont elles paraissent formées. Au cours d'un même examen radioscopique, celui de la main par exemple, le squelette et les parties molles, inégalement perméables aux rayons de Röntgen, sont toujours représentés sur l'écran par des régions inégalement éclairées ; mais tantôt, quand l'ampoule peu résistante fournit des rayons peu pénétrants, l'image des parties molles, très sombre, paraît à peine distincte de celle du squelette ; tantôt, au contraire, quand l'ampoule très résistante fournit des rayons très pénétrants, l'image du squelette, très claire, paraît à peine distincte de celle des parties molles, tandis qu'il existe un degré intermédiaire de résistance de l'ampoule où la différence d'éclairage entre l'image des parties molles et celle du squelette paraît aussi grande que possible. C'est toujours une *mise au point* très délicate, au cours d'un examen radios-

copique, que d'amener la résistance de l'ampoule au degré précis où l'image observée sur l'écran apparaît tout à la fois le plus diversement et le plus nettement teintée (1) ; toutes choses égales, ce degré de résistance de l'ampoule doit varier avec la sensibilité lumineuse de l'observateur ; à mesure que sa sensibilité grandit par l'adaptation, il convient que l'ampoule devienne moins résistante et fournisse des rayons moins pénétrants, surtout s'il veut percevoir de faibles différences de perméabilité à ces rayons, telles qu'il en existe par exemple entre les deux sommets pulmonaires, dans la tuberculose unilatérale à ses débuts ; dans tous les cas, d'ailleurs, il est bon que l'ampoule donne passage à une assez grande quantité d'énergie électrique pour que l'écran soit brillamment illuminé.

Les recherches de Benoist permettent de bien comprendre les faits qui précèdent. D'après ces recherches, la transparence relative de deux corps dissemblables est dans un rapport variable avec le pouvoir de pénétration des rayons qui les traversent. Le *radiochromomètre* de Benoist, fondé sur les variations du rapport de transparence de l'aluminium et de l'argent en présence de rayons plus ou moins pénétrants, montre qu'une mince feuille d'argent, traversée par des rayons très peu pénétrants, donne une ombre de même teinte que celle d'une lame d'aluminium d'un millimètre d'épaisseur, tandis que la même feuille, traversée par des rayons de plus en plus pénétrants, donne une ombre de même teinte que celle d'une lame d'aluminium de deux, de trois, de quatre, etc., et même de douze millimètres d'épaisseur. Cet instrument sert à déterminer exactement, au cours des examens radioscopiques, la qualité des rayons qui illuminent l'écran.

Acuité visuelle. — On appelle *acuité visuelle* ou *sensibilité visuelle proprement dite* la faculté de percevoir nettement les formes des foyers lumineux. La perception des formes à l'aide du sens de la vue est distincte de la simple perception lumineuse. La quantité de lumière nécessaire et suffisante pour la perception des formes est toujours supérieure à la quantité de lumière minima que l'œil est capable de percevoir.

Tout le monde sait que, lorsque l'éclairage ambiant diminue, l'acuité visuelle diminue aussi. Quand le jour baisse, on cesse de voir distinctement les caractères du journal qu'on lisait avec facilité ; ce sont d'abord les plus petits caractères dont on ne peut plus nettement distinguer la forme et les contours, puis c'est au tour des plus gros caractères de devenir confus et indistincts, bien avant que soit tombée l'obscurité de la nuit. Quand, au sortir du plein jour, on entre dans la chambre noire où se fait l'examen radioscopique, en présence de la faible lumière provenant de l'écran fluorescent, on ne possède donc plus qu'une acuité visuelle très diminuée ; il suffit pour s'en convaincre d'essayer de lire un journal à la lueur de l'écran. Après quelques minutes, quand la rétine adaptée est devenue plus sensible et que l'écran

(1) On donne, en Allemagne, à cet état de l'ampoule le nom d'*état critique*. Il va de soi que l'état critique d'une même ampoule est variable suivant l'épaisseur et la structure de l'organe examiné.

paraît plus lumineux, l'acuité visuelle augmente, mais il s'en faut de beaucoup que son accroissement marche de pair avec celui de la sensibilité rétinienne.

J'ai fait à ce sujet quelques recherches complémentaires des précédentes, en plaçant à la surface d'un petit écran fluorescent une bande de métal imperméable aux rayons de Röntgen dans laquelle un mot était découpé, en caractères majuscules d'assez grandes dimensions. Ainsi les lettres de ce mot apparaissaient lumineuses sur un fond obscur quand l'écran devenait fluorescent. J'ai remarqué d'abord en mesurant d'après le principe énoncé plus haut, l'illumination de l'écran par sa distance à l'ampoule, que l'illumination nécessaire et suffisante pour que le mot fût lu distinctement, était 10 à 30 fois plus grande que le minimum de lumière perceptible au même moment par l'expérimentateur. De plus, après avoir observé que la sensibilité lumineuse d'un observateur avait grandi par exemple de 1 à 50 après dix minutes d'obscurité et de 1 à 220 après vingt minutes d'obscurité, voici ce que j'ai constaté. On aurait pu croire, à priori, que si cet observateur était capable, au sortir du plein jour, de lire distinctement les lettres d'un mot sur un écran producteur d'une certaine intensité de lumière, il devait, après dix minutes d'obscuration, quand sa sensibilité lumineuse était devenue 50 fois plus grande, continuer à lire le même mot sur l'écran 50 fois moins lumineux. L'expérience m'a montré qu'il parvenait à lire ce mot sur l'écran, lorsque celui-ci, d'après sa distance au foyer radiogène, était seulement 14 fois moins lumineux qu'au début de l'expérience. Après vingt minutes d'obscuration, alors que sa sensibilité lumineuse était devenue 220 fois plus grande, il ne pouvait lire ce mot que sur l'écran 88 fois moins lumineux. Je n'attribue aux chiffres qui précèdent qu'une valeur très relative ; mais toutes les expériences du même genre m'ont donné des résultats analogues et m'ont montré que, pendant l'adaptation de l'œil, l'acuité visuelle croît en même temps que la sensibilité lumineuse, mais n'augmente pas de pair avec celle-ci.

Il est un autre fait non moins certain : si grande que soit l'augmentation de la sensibilité lumineuse produite par l'obscuration chez chaque observateur, son acuité visuelle en présence de l'écran demeure toujours inférieure à l'acuité visuelle qu'il possède en plein jour. Pour s'en convaincre, il suffit de faire lire successivement à la même personne d'abord à la lumière du jour, puis à la lueur de l'écran fluorescent, avant, pendant et après l'adaptation de l'œil, une de ces échelles typographiques qui servent à la mesure de l'acuité visuelle, en notant pour chaque groupe de caractères la plus grande distance de l'œil à laquelle il est vu distinctement dans chacune de ces diverses conditions ; jamais à la lueur de l'écran, même avec la plus complète adaptation, la distance de la vision distincte n'est aussi grande qu'à la clarté du jour. Pour rendre la comparaison plus précise, on peut remplacer les caractères imprimés des échelles typographiques par des caractères de semblables dimensions, découpés dans une lame métallique et

les appliquer successivement, dans une chambre noire, d'abord sur un écran de verre dépoli fermant cette chambre et rendu lumineux par les rayons solaires qui le traversent, puis sur un écran de platino-cyanure de baryum, rendu fluorescent par les rayons de Röntgen ; le résultat est toujours le même : l'acuité visuelle devant l'écran fluorescent demeure inférieure à celle du plein jour. Encore convient-il de remarquer que les conditions de l'expérience sont, pour l'acuité visuelle, beaucoup plus favorables que celles de l'examen radioscopique, puisque dans cet examen il ne s'agit pas de distinguer deux surfaces dont l'une est éclairée et l'autre tout à fait obscure, mais de tracer une ligne de délimitation entre deux surfaces inégalement éclairées. M. Broca a démontré expérimentalement que pour des éclairages faibles, l'acuité visuelle est très différente suivant qu'on prend un test-objet formé de quelques traits blancs sur fond absolument noir ou de traits blancs sur fond seulement moins lumineux ; dans ce dernier cas, si les éclairements des traits voisins sont dans le rapport de 6 à 10, l'acuité visuelle commence à décroître pour une intensité lumineuse triple ou quadruple de celle pour laquelle elle décroît dans le cas précédent. En résumé, l'acuité visuelle de l'observateur placé en face de l'écran fluorescent n'est pas moins instable que sa sensibilité lumineuse et présente comme celle-ci d'incessantes variations. Pour l'acuité visuelle comme pour la sensibilité lumineuse, il convient d'abord de déterminer l'équation personnelle de chacun et de faire la part de l'acuité plus ou moins normale que possède sa vision à la lumière du jour. Cette part faite, on voit que deux facteurs font varier l'acuité visuelle pendant l'examen radioscopique : d'une part, l'excitation plus ou moins forte que reçoit des rayons de Röntgen la substance fluorescente de l'écran et, d'autre part, l'adaptation.

La diminution de l'acuité visuelle à la lumière de l'écran fluorescent donne, je crois, la véritable explication d'un fait constaté par tous les observateurs depuis la découverte de Röntgen, celui de la supériorité des images radiographiques sur les images radioscopiques au point de vue de la netteté des contours et de la finesse des détails. Quand, au cours d'un examen radioscopique, on substitue à l'écran une plaque sensible, qu'après un temps de pose convenable on développe et on fixe l'image obtenue sur cette plaque, puis, qu'on en tire une épreuve sur papier, cette épreuve reproduit, sans changement de dimensions, l'image radioscopique d'abord aperçue sur l'écran ; elle lui est superposable, mais elle est incontestablement plus nette, plus précise, plus détaillée. Comment expliquer ce fait paradoxal ? Puisque ce sont exactement les mêmes radiations qui impressionnent la plaque et l'écran, pourquoi l'image durable enregistrée sur la plaque et l'image fugitive aperçue sur l'écran ne sont-elles pas exactement semblables ? M. le professeur Gariel, dans une conférence faite à l'Association française pour l'avancement des sciences sur la vision et la photographie par les rayons de Röntgen, a donné en 1897 l'explication que voici : « On peut, dans une radiographie bien prise, voir des détails que l'on ne perçoit pas dans l'image

radioscopique ; cela tient à ce que, dans une certaine mesure au moins, les impressions s'ajoutent avec le temps sur une plaque photographique, tandis qu'il n'en est pas de même dans l'œil ; c'est d'ailleurs la même raison qui explique, au moins en partie, l'usage que l'on fait de la photographie en astronomie. »

L'interprétation de M. le professeur Gariel, qui contient certainement une part de vérité, a été énoncée à une époque où la radiographie exigeait toujours un certain temps de pose. Mais on obtient aujourd'hui des radiographies vraiment instantanées qui n'en demeurent pas moins plus précises et plus détaillées que les images correspondantes sur l'écran, il faut donc chercher une autre explication.

Je crois l'avoir trouvée dans la différence d'acuité visuelle avec laquelle nous examinons les épreuves radiographiques et les images radioscopiques : nous voyons les premières à la lumière du jour, c'est à-dire avec toute notre acuité visuelle, avec l'acuité visuelle normale, si notre œil est bien conformé, tandis que nous voyons les secondes sur l'écran fluorescent avec une acuité visuelle toujours plus ou moins diminuée. Pour être convaincu que telle est bien la raison principale de la supériorité des images radiographiques sur les images radioscopiques, il suffit de faire l'expérience suivante, très démonstrative : on prend une épreuve radiographique bien faite, une épreuve du thorax par exemple, on l'examine à la pleine clarté du jour et on note l'existence de quelques fins détails ; puis on examine cette épreuve loin du jour, à la lumière d'une lampe ; déjà la précision des détails, la netteté des contours s'atténuent. Enfin on examine la même épreuve dans une chambre noire, à la lueur de l'écran fluorescent : les contours s'estompent, les fins détails disparaissent, elle se rapproche de l'image radioscopique. On peut faire mieux encore, c'est de prendre la plaque même qui a été impressionnée par les rayons de Röntgen ou, de préférence, une épreuve sur verre du cliché; on la regarde successivement d'abord par transparence à la lumière du jour, puis appliquée contre la surface fluorescente de l'écran dans la chambre noire; alors cette épreuve apparaît très différente d'elle-même, moins nette, moins précise, moins détaillée, et reproduit assez exactement l'image radioscopique correspondante. S'il subsiste une différence, elle provient surtout de la structure cristalline et de l'état grenu du platinocyanure de baryum un peu moins favorables que la surface polie de la plaque photographique à la finesse et à la netteté des images. Il existe d'ailleurs, toutes choses égales, d'assez grandes différences, au point de vue de la netteté des images et la précision des contours, entre des écrans, également fluorescents, suivant leur mode de fabrication.

La diminution de l'acuité visuelle devant l'écran et l'infériorité relative des images qu'offre ce dernier enseignent que l'examen radioscopique, si précieux par sa simplicité, sa rapidité, le privilège qu'il possède de montrer les mouvements des organes ne donne pas toujours des renseignements suffisants et doit être complété par la radiographie.

En résumé, ce qui intéresse la vision dans l'examen radioscopique, c'est, d'une part, sous l'influence de l'adaptation de l'œil par l'obscuration, une extraordinaire augmentation de la sensibilité lumineuse ; c'est, d'autre part, malgré l'adaptation de l'œil, une notable diminution de l'acuité visuelle.

Après avoir exposé, en dehors de toute idée préconçue, les phénomènes qui caractérisent la vision dans l'examen radioscopique, il n'est pas sans intérêt de chercher à quels éléments anatomiques ces phénomènes sont liés.

Deux espèces d'éléments anatomiques, les *bâtonnets* et les *cônes*, composent, on le sait, la couche sensible de la rétine. D'après les recherches du docteur Parinaud, les bâtonnets seraient le siège, à l'exclusion des cônes, de la fonction spéciale par laquelle le séjour dans l'obscurité provoque l'accroissement de la sensibilité lumineuse. On sait que le segment externe des bâtonnets est imbibé par une substance fluorescente, le *pourpre rétinien*, que les cellules pigmentaires sécrètent, que la lumière décolore et dont l'obscurité favorise la régénération (Boll-Kühne) ; c'est de la sécrétion du pourpre rétinien que dépend, d'après le docteur Parinaud, la fonction spéciale qu'il appelle l'*adaptation rétinienne.* Cet observateur a comparé la sensibilité de la rétine pour les différentes parties du spectre, successivement au sortir du plein jour et après un séjour de vingt minutes dans l'obscurité : l'accroissement de sensibilité lumineuse qui caractérise l'adaptation à l'obscur intéresse inégalement les radiations de longueur d'onde ou de réfrangibilité différentes ; nul pour le rouge, cet accroissement de sensibilité augmente à mesure que l'on explore des régions plus rapprochées de l'extrémité violette, où il atteint des proportions considérables, ainsi que dans l'ultra-violet. De plus, cet accroissement de sensibilité ne porte que sur l'intensité lumineuse de la couleur qui, tout en paraissant plus lumineuse, devient moins saturée. Enfin, cet accroissement de sensibilité fait défaut dans la *fovea centralis* ou fossette centrale de la rétine qui, dépourvue de bâtonnets et de pourpre, ne contient que des cônes. C'est surtout sur ce fait d'expérimentation physiologique que s'appuie le docteur Parinaud pour localiser l'adaptation rétinienne dans les bâtonnets à l'exclusion des cônes. L'anatomie et la physiologie comparées confirment cette localisation ; elles montrent la faculté de l'adaptation rétinienne, la faculté de voir convenablement la nuit, très développée chez certains animaux, hiboux, chouettes, chauves-souris, hérissons, etc., dont la rétine contient exclusivement ou de façon prédominante des bâtonnets, tandis qu'au contraire les animaux dont la rétine est privée de pourpre et de bâtonnets, comme les poules, les pigeons et la plupart des oiseaux, sont également privés de l'adaptation rétinienne et de la vision crépusculaire ; ils sont normalement héméralopes. L'observation clinique de certains cas pathologiques fournit un supplément de preuves ; l'étude de l'héméralopie chez l'homme montre que ce trouble de la sensibilité rétinienne respecte les fonctions de la fovea dépourvue de pourpre et ne porte que sur la valeur lumi-

neuse des couleurs, non sur la sensation de couleur elle-même. De tous ces faits, le docteur Parinaud conclut que le mode d'excitation de la lumière est différent pour les bâtonnets et pour les cônes, que les bâtonnets donnent seulement une sensation de lumière incolore, que les bâtonnets et le pourpre ont pour fonction de renforcer, par un processus spécial, la sensibilité lumineuse, de manière à rendre la vision encore possible avec de faibles intensités de lumière, leur mode d'excitation faisant varier l'intensité de la sensation lumineuse dans des proportions extraordinaires suivant l'éclairage ambiant. Quant au processus spécial par lequel le pourpre rétinien augmente la sensibilité lumineuse dans des proportions si considérables pour certaines radiations, le docteur Parinaud l'interprète de la façon suivante : l'*action du pourpre rétinien est dû à sa fluorescence.* Il fait remarquer que les radiations du spectre dont la visibilité est augmentée, après un séjour suffisamment prolongé de l'œil dans l'obscurité, sont précisément celles qui agissent sur les substances fluorescentes et que cette augmentation de la visibilité est d'autant plus grande que les radiations sont plus réfrangibles, c'est-à-dire que leur propriété de développer la fluorescence est plus grande. Ainsi l'obscuration favorise le développement, au fond de l'œil, d'un écran fluorescent naturel, constitué par le pourpre rétinien dont est imbibé le segment externe des bâtonnets.

En résumé, si on peut considérer la rétine humaine comme formée de deux rétines fusionnées ensemble, celle des cônes et celle des bâtonnets, la rétine des bâtonnets paraît jouer dans l'examen radioscopique, sinon le rôle unique au moins le rôle prédominant, et l'infériorité constatée des héméralopes pour la pratique de ce mode d'examen est un des meilleurs arguments qu'on puisse invoquer en faveur d'une telle interprétation des phénomènes observés.

Cette interprétation, qui permet de comprendre l'extraordinaire augmentation de la sensibilité lumineuse devant l'écran fluorescent, n'explique pas moins bien la diminution de l'acuité visuelle concomitante.

Dans la couche sensible de la rétine, ce sont les cônes qui possèdent le rôle principal, dans la faculté de différencier les impressions lumineuses géométriquement distinctes, d'où résulte la perception des formes ou acuité visuelle. On sait, en effet, que l'acuité visuelle atteint sa plus grande perfection dans la *fovea*, où il n'y a que des cônes, et baisse rapidement en dehors de la *fovea* et dans les parties périphériques de la rétine, où les cônes deviennent de moins en moins nombreux. Dans la *fovea* où les cônes existent seuls, ils y sont plus petits et plus serrés les uns contre les autres que partout ailleurs, leur diamètre atteint à peu près exactement la moitié de la plus petite distance, où deux images lumineuses de la rétine peuvent déterminer deux sensations distinctes ; cela montre une corrélation certaine entre la perception des formes et la disposition anatomique des cônes. Or, on a vu plus haut que l'adaptation rétinienne, acquise par l'obscuration, fait défaut dans la *fovea*, qu'elle est la fonction des bâtonnets. Si c'est la rétine

des bâtonnets qui entre en jeu presque exclusivement dans l'examen radioscopique, il n'est pas étonnant que la rétine adaptée à la faible lueur de l'écran fluorescent ne possède avec une sensibilité lumineuse fort accrue, qu'une acuité visuelle amoindrie.

Mais pourquoi les bâtonnets sont-ils moins aptes que les cônes à isoler des excitations lumineuses distinctes? Deux raisons, l'une d'ordre anatomique, l'autre d'ordre physiologique, expliquent cette infériorité des bâtonnets. Anatomiquement, les travaux de Ramon y Cajal sur la structure de la rétine ont montré que chaque cône est en rapport avec une cellule bipolaire, tandis qu'une seule cellule bipolaire est affectée à plusieurs bâtonnets. Physiologiquement, le mode d'excitation des cônes est mieux que celui des bâtonnets en rapport avec les propriétés isolatrices de la rétine. Chaque cône est en effet directement excité par la lumière, et ne réagit nullement sur les cônes qui l'entourent, tandis qu'un bâtonnet excité par l'intermédiaire de la fluorescence du pourpre qui imbibe son segment externe, transmet nécessairement une part de l'excitation qu'il reçoit aux bâtonnets, ses plus proches voisins. La faculté isolatrice des bâtonnets est donc plus faible que celle des cônes. Deux expérimentateurs, von Kries et Fick, ont cherché à l'évaluer exactement en expérimentant sur la rétine fortement adaptée, à l'aide de foyers lumineux phosphorescents ou éclairés par transparence. L'acuité des bâtonnets serait de 1/4 à 1/10 de celle des cônes suivant les sujets. Contrairement à l'acuité ordinaire prise à la lumière du jour, elle augmente du centre à la périphérie. Ces résultats confirment les recherches du docteur Parinaud et contribuent à expliquer la diminution de l'acuité visuelle pendant l'examen radioscopique. Le fait de l'accroissement de l'acuité des bâtonnets du centre à la périphérie de la rétine et surtout la non-participation de la *fovea* à l'adaptation rétinienne expliquent aussi comment, à l'exemple d'Arago, qui voyait mieux les étoiles en déviant légèrement l'œil qu'en les fixant directement, on distingue parfois mieux certains détails de l'image radioscopique en la regardant un peu de côté qu'en l'examinant de face.

Persistance des impressions rétiniennes. — On sait communément que les impressions produites sur la rétine persistent un certain temps, de telle sorte que des excitations discontinues, mais suffisamment rapprochées, donnent la sensation d'une excitation continue. Ce phénomène joue dans l'examen radioscopique un rôle important. C'est grâce à la persistance des impressions rétiniennes, que, malgré la production intermittente des rayons de Röntgen à l'aide des bobines d'induction, on obtient cependant sur l'écran une image qui paraît fixe et persistante, à la condition que les interruptions du courant inducteur se succèdent à des intervalles assez rapprochés. Il importe donc de connaître la durée de la persistance des impressions lumineuses sur la rétine, mais on ne peut exprimer cette durée par un seul chiffre.

M. Charpentier a montré que la persistance varie : 1° en sens inverse de l'éclairage ; 2° en sens inverse de la durée d'excitation ; 3° en sens inverse

de la surface d'excitation ; 4° en sens inverse de la valeur intrinsèque de la sensibilité lumineuse modifiée soit par l'adaptation, soit d'après l'endroit de la rétine excitée. Toutes ces influences concordent à établir que le seul facteur qui influence la persistance est l'intensité de la sensation ; à mesure que cette intensité diminue, la durée de la persistance des impressions rétiniennes augmente. En résumé, la durée de la persistance des impressions rétiniennes varie entre 1/45 et 1/10 de seconde. La conséquence au point de vue de l'examen radioscopique, c'est qu'en tenant compte de l'adaptation, telle image sur l'écran peut paraître fixe à un observateur, alors qu'un autre la voit papillotante ; aux yeux d'un même observateur, cette image peut papilloter puis se fixer, ou inversement, sans que rien soit changé dans le nombre des interruptions du courant inducteur. La conclusion pratique, c'est que pour obtenir dans l'examen radioscopique, à l'aide des bobines d'induction, une fixité de l'image comparable à celle que donnent les machines statiques, il ne faut guère moins d'une quarantaine d'interruptions par seconde.

§ 4. — Les images radioscopiques.

Après avoir étudié le fonctionnement de l'appareil visuel pendant l'examen radioscopique, il convient de dire quelques mots des images perçues par l'œil sur l'écran fluorescent, en considérant ces images seulement au point de vue physique, indépendamment de leur valeur séméiologique pour le médecin. Puisque ces images sont formées d'un assemblage de parties diversement éclairées, de forme et d'étendue variables, délimitées par des contours plus ou moins nets, il y a lieu d'étudier successivement les dimensions, la forme, les contours et la teinte de chacune des parties de l'image radioscopique dans ses rapports avec les dimensions, la forme, les contours et la perméabilité aux rayons X de l'organe ou de la portion d'organe qui lui correspond.

Grandeur des images radioscopiques. — Les rayons de Röntgen forment à partir de leur foyer d'émission un faisceau divergent. Les organes invisibles que recouvrent le tégument et le tissu cellulo-adipeux sous-cutané demeurent nécessairement à une certaine distance de l'écran fluorescent, alors même que cet écran est mis au contact du sujet examiné. Dans ces conditions, on voit facilement que les dimensions des ombres portées sur l'écran surpassent toujours celles des organes correspondants. Elles les surpassent d'autant plus que le foyer d'émission des rayons de Röntgen est plus rapproché de l'écran. Elles les surpassent aussi d'autant plus que les organes correspondants sont plus éloignés de l'écran. Ainsi le cœur, plus proche de la paroi antérieure que de la paroi postérieure du thorax, projette sur l'écran fluorescent appliqué contre la colonne vertébrale une ombre de beaucoup plus grandes dimensions, surtout si l'écran n'est pas très éloigné de l'ampoule radiogène. Les images radioscopiques sont le plus

souvent des images complexes formées d'ombres superposées, qui correspondent à des organes inégalement distants de l'écran, ces diverses ombres sont donc inégalement agrandies. C'est ainsi que dans l'examen radioscopique du thorax, alors que l'écran est appliqué au-devant du thorax, l'ombre de l'arc postérieur des côtes est plus agrandi que celle de leur arc antérieur, tandis qu'inversement, lorsque l'écran est appliqué contre le dos, c'est l'ombre de l'arc antérieur des côtes qui devient plus grande que celle de leur arc postérieur.

Forme des images radioscopiques. — Les ombres formées par le faisceau divergent des rayons de Röntgen, toujours agrandies, ne le sont pas également dans toutes leurs parties. Elles le sont à peine au voisinage du point où l'incidence des rayons de Röntgen est perpendiculaire à l'écran fluorescent. Elles le deviennent de plus en plus à mesure qu'on s'éloigne davantage de ce point, à mesure que l'incidence des rayons qui les fournit devient plus oblique ; une construction géométrique très simple le fait facilement comprendre. Les ombres portées par les rayons de Röntgen ne sont donc pas seulement des images toujours agrandies des organes, ce sont des images toujours déformées. La déformation d'une image radioscopique est d'autant plus prononcée que le foyer radiogène est plus proche de l'écran ; elle est d'autant plus prononcée que l'organe correspondant est plus éloigné de l'écran ; elle est d'autant plus prononcée que cet organe est de plus grandes dimensions ; enfin elle est d'autant plus prononcée qu'on considère sur l'écran des points de l'image plus distants du point où l'incidence des rayons est perpendiculaire à l'écran.

Délimitation des images radioscopiques. — Dans la délimitation plus ou moins nette des portions inégalement éclairées de l'image radioscopique, l'acuité visuelle et la sensibilité lumineuse de l'observateur jouent un rôle très important qui a été étudié plus haut. Mais en dehors de cet élément subjectif et personnel, l'image radioscopique, envisagée seulement au point de vue de ses caractères physiques et objectifs, peut présenter, à la limite des diverses parties dont elle est formée, des contours plus ou moins précis suivant que les ombres portées sur l'écran sont ou non accompagnées de pénombres.

Théoriquement, quand le foyer d'émission des rayons de Röntgen se réduit sur l'anticathode à une très petite surface de quelques millimètres carrés seulement, comme on l'obtient dans les ampoules très bien construites, les ombres portées sur l'écran doivent être des ombres nettes, à contours précis, sans aucune pénombre. Mais la fluorescence de l'écran peut être excitée par d'autres rayons que ceux qui partent de l'anticathode, par des rayons qu'en radioscopie, on peut appeler rayons parasites, en ce sens qu'il y a tout avantage à s'en débarrasser : les uns prennent naissance hors de l'ampoule, les autres proviennent de sa paroi de verre.

Les rayons parasites nés hors de l'ampoule sont les *rayons secondaires* (Sagnac), qu'émettent dans toutes les directions les corps frappés par les

rayons de Röntgen. Les rayons parasites provenant de la paroi de verre de l'ampoule naissent en chacun des points fluorescents de cette paroi sous le choc des *rayons cathodiques diffusés* par l'anticathode (Villard).

Tous ces rayons parasites ont un pouvoir de pénétration beaucoup moindre que celui des rayons de Röntgen directement issus de l'anticathode, cependant leur pouvoir de pénétration grandit, comme celui de ces derniers, avec la résistance électrique de l'ampoule et il grandit souvent au point de leur permettre d'atteindre l'écran. Ces rayons parasites augmentent l'illumination de l'écran; mais c'est aux dépens de la netteté des ombres, car la multiplicité et l'éparpillement de leurs foyers d'émission produisent des pénombres qui rendent indistincts les contours de l'image radioscopique. Ces pénombres sont d'ailleurs, toutes choses égales, d'autant plus apparentes et nuisibles que l'écran est moins éloigné de l'ampoule et que l'organe correspondant à l'image radioscopique est plus éloigné de l'écran.

Il est impossible de se débarrasser complètement des rayons parasites, puisqu'il en provient des organes mêmes qui sont soumis à l'examen radioscopique. On peut cependant en écarter le plus grand nombre à l'aide de différents procédés qui seront exposés ailleurs, et parmi lesquels je me contenterai de citer d'une part l'anticathode conique de M. Villard, d'autre part l'emploi des diaphragmes de plomb. Le diaphragme iris que j'ai fait construire dans ce but, constitue une forme simplifiée du diaphragme iris des microscopes. Les dimensions de son ouverture, variables à volonté, permettent de constater très facilement que plus se rétrécit la plage d'illumination de l'écran, moins l'image radioscopique est brillante, mais plus ses contours sont nets et précis, plus est fortement et distinctement accentuée l'opposition entre les parties claires et les parties sombres (1).

Teintes des images radioscopiques. — On vient de voir comme les dimensions et la forme des images radioscopiques diffèrent des dimensions et de la forme réelles des organes examinés ; mais il est facile, à l'aid des notions les plus élémentaires de géométrie, de faire les corrections ne cessaires, quand on connaît la distance de l'ampoule et celle des organes à la surface de l'écran, et qu'en outre on a déterminé le point d'incidence normale des rayons de Röntgen sur l'écran.

Par contre, il est à peu près impossible d'établir un rapport exact entre les teintes variées des différentes parties de l'image radioscopique et le degré de perméabilité des organes examinés. On peut théoriquement supposer le cas le plus simple, celui de deux organes juxtaposés de densité différente, mais de même épaisseur. Même dans ce cas, la valeur relative des deux teintes observées sur l'écran est on ne peut plus variable. On a vu qu'elle dépend d'éléments très divers ; elle varie avec la distance de l'ampoule à l'écran, avec la résistance électrique de l'ampoule, avec la quantité d'énergie

(1) A. Béclère, l'Emploi du diaphragme iris en radioscopie et son utilité pour la détermination du point d'incidence normale. *Archives d'électricité médicale*, 15 octobre 1900, n° 94.

électrique qui la traverse ; elle varie surtout avec la sensibilité lumineuse de l'observateur, qui change elle-même à chaque instant, suivant l'adaptation. Dans la réalité, les éléments du problème sont encore plus complexes : d'une part, la plus ou moins grande épaisseur des organes profonds traversés par les rayons de Röntgen constitue un facteur presque toujours inexactement connu, qui contribue à faire varier l'intensité de l'ombre correspondante sur l'écran ; d'autre part, l'image radioscopique est le plus souvent, dans chacune de ses parties, une superposition d'ombres diversement teintées provenant des organes différents, inégalement épais et denses, que les rayons de Röntgen rencontrent successivement sur leur trajet. Enfin, l'image d'un seul organe est souvent elle-même une superposition d'ombres diversement teintées. Pour n'en citer qu'un exemple, l'image radioscopique d'un organe de structure alvéolaire tel que le poumon, formé d'une infinité de logettes remplies d'air, est une image de teinte relativement claire, dont la clarté devient, à l'état pathologique, plus forte ou plus faible, suivant que l'espace occupé par l'air à l'intérieur du poumon grandit ou diminue. Mais si les rayons de Röntgen avant de parvenir à l'écran rencontrent successivement une cavité remplie d'air et une masse solide substituées au tissu normal du poumon, la teinte de l'image qu'ils produisent devient une résultante. C'est, pour ainsi dire, la somme algébrique de la clarté plus grande et de la clarté moindre dues à leur passage à travers des portions du parenchyme pulmonaire alternativement moins denses et plus denses qu'à l'état normal. Dans ces conditions, la résultante peut aboutir, somme toute, soit à une augmentation, soit à une diminution, soit même à la persistance sans changement de la clarté normale.

On comprend, en résumé, combien, même au point de vue purement physique, l'interprétation des diverses teintes de l'image radioscopique, d'après leur valeur relative, présente de difficultés et d'incertitude.

Docteur Béclère,

Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

CHAPITRE II

LA PLAQUE ET L'IMAGE RADIOGRAPHIQUE

§ 1. — La plaque sensible.

Plaques photographiques et plaques radiographiques. — C'est une industrie actuellement très répandue et très perfectionnée que celle de la fabrication des plaques radiographiques et photographiques, et le radiographe, pas plus que le photographe, n'a à se préoccuper de la préparation de l'émulsion sensible aux rayons X ou aux rayons lumineux et du coulage de cette émulsion sur la lame de verre destinée à devenir un cliché. Depuis de longues années, en effet, cette manipulation est sortie du Laboratoire et devenue industrielle.

Ce n'est pas à dire que cette question soit dès aujourd'hui assez complètement résolue, pour que des perfectionnements nouveaux ne puissent résulter de recherches scientifiques nouvelles. On ne sait rien de certain encore, par exemple, sur l'action intime que la lumière ou les rayons X exercent sur le composé chimique, le bromure d'argent, sensible à ces agents ; les curieux phénomènes inverses que l'on observe lorsque les rayons de Röntgen ou les rayons lumineux agissent pendant un temps assez long, phénomènes sur lesquels nous reviendrons plus loin, sont encore inexpliqués, etc. ; et l'on ne peut prévoir les conséquences pratiques qui résulteront de la connaissance intime des actions moléculaires, que l'agent actif détermine dans la masse de la substance sensible. Mais les plaques que l'on trouve à profusion dans le commerce ont dès maintenant des qualités telles qu'elles permettent au radiographe, disposant d'un outillage assez puissant, d'obtenir de bons clichés pour toutes les régions du corps humain. Nous serons donc très brefs sur le mode de préparation des plaques, puisqu'il ne constitue pas l'une des manipulations à accomplir dans une installation radiographique.

Ajoutons immédiatement d'ailleurs que, au lendemain même de la découverte de Röntgen, les plaques les plus sensibles à la lumière ordinaire furent reconnues comme étant en même temps les plus sensibles aux rayons X.

Ce fait fut, en particulier, signalé par Londe, puis par Lumière, et la fabrication des plaques radiographiques s'est ainsi et restera confondue avec celle des plaques photographiques, à moins que quelque fait nouveau, et spécial

aux rayons X, n'oblige un jour à établir une différenciation que rien ne justifierait aujourd'hui.

C'est dire que les plaques radiographiques, comme les plaques destinées à la photographie, sont constituées par une émulsion de bromure d'argent dans de la gélatine solidifiée sur une lame de verre.

Le bromure d'argent.— Le bromure d'argent, d'après les travaux de Stass, peut se présenter sous quatre aspects différents :

1° Floconneux et de couleur blanc jaunâtre ;

2° Pulvérulent, avec une coloration jaune intense ou gris perle ;

3° Grenu ;

4° En cristaux d'un jaune intense.

On obtient ces diverses variétés de bromure au moyen des opérations suivantes :

En traitant une solution aqueuse de nitrate d'argent par une solution d'un bromure, la concentration de chaque liqueur ne dépassant pas 1 p. 100, il se forme un précipité, blanc floconneux s'il y a excès d'argent, jaune s'il y a excès de bromure ; ce précipité noircit assez vite sous l'action de la lumière.

Quand le bromure précédent, préparé dans une liqueur neutre, est agité fortement, il prend l'aspect pulvérulent et devient, en même temps, moins sensible à la lumière.

Si l'on verse une solution de bromure d'ammonium dans une solution bouillante de nitrate d'argent au 1/1.000, on obtient le bromure grenu ou granulaire, qui est très sensible à l'action des rayons lumineux.

Enfin, le bromure se présente à l'état cristallisé, lorsqu'on ajoute 5 fois son volume d'eau distillée à une solution ammoniacale saturée de bromure d'argent ; cette variété cristalline n'est que peu impressionnable par l'agent lumineux.

Il résulte de ces notions sommaires que, pour la préparation des plaques sensibles, c'est la variété granulaire du bromure d'argent qui doit être employée. On fait d'ailleurs subir à cette variété, avant de la couler sur la plaque de verre, une opération qui, dans l'industrie, porte le nom de *maturation* et dont la pratique a démontré l'action favorable sur la sensibilité à la lumière. Il s'agit probablement là de manipulations qui ont pour effet d'altérer dans une certaine mesure la stabilité de l'équilibre moléculaire du bromure d'argent, afin de faciliter l'action ultérieure des rayons lumineux.

La maturation du bromure d'argent peut être obtenue par l'action de la chaleur, par celle d'un alcali, ou encore par celle du temps.

1° *Action de la chaleur*.— On prépare une émulsion au gélatino-bromure d'argent, c'est-à-dire une solution de gélatine dans laquelle on a fait former du bromure d'argent par double décomposition du bromure d'ammonium et de l'azotate d'argent ; puis on chauffe cette émulsion à 35° ou 40° pendant sept à huit jours, ou à 100° pendant une demi-heure seulement.

2° *Action d'un alcali.*— L'ammoniaque, à la dose de 1 à 2 p. 100, même à froid, fait rapidement mûrir l'émulsion.

3° *Action du temps.* — Le temps, mais un temps fort long, suffit à lui seul pour réaliser la maturation.

Ces divers procédés sont d'ailleurs souvent associés entre eux. Mais quel que soit le procédé employé, il est nécessaire de surveiller attentivement l'opération, ce qui consiste à regarder la flamme d'une bougie à travers une lame de verre, sur laquelle on vient de déposer une couche de l'émulsion ; la lumière ainsi transmise apparaît successivement avec une coloration rouge violet, bleu violet, bleu grisâtre, et enfin verdâtre lorsque la maturation est complète.

Fabrication des plaques. — La fabrication des plaques radiographiques et photographiques se fait, dans l'industrie, à la machine, ce qui assure une régularité que l'on atteindrait difficilement dans une préparation à la main.

Les plaques, parfaitement nettoyées au préalable, sont placées sur des courroies sans fin, montées elles-mêmes sur des rouleaux et amenées par ce moyen dans un déversoir en argent disposé au-dessous d'un récipient qui contient l'émulsion mûrie et maintenue liquide au moyen d'un dispositif de chauffage. Cette émulsion coule en nappe sur les plaques et les recouvre d'une couche uniforme dont l'épaisseur est réglée par le débit du déversoir.

Les plaques recouvertes d'émulsion sont entraînées jusqu'à l'extrémité de la machine et font prise pendant ce temps ; on les enlève alors pour les porter au séchoir.

La machine à couler la plaque est installée dans un endroit frais ; pendant les chaleurs, on assure la prise de l'émulsion, en disposant le long de la partie qui s'étend du déversoir à la fin du chemin roulant, des recouvrements en métal sur lesquels on place de la glace.

L'opération du coulage peut d'ailleurs être effectuée, soit sur de grandes feuilles de verre que l'on débite ensuite en formats divers, soit sur des lames préalablement débitées en dimensions diverses.

Choix des plaques.— On trouve dans le commerce des plaques radiographiques, sous des marques à peu près aussi nombreuses que celles des plaques photographiques. Celles-ci se valent, en général, quelle que soit leur provenance, à quelques particularités près ; c'est qu'il n'y a pas, à proprement parler, de secret de fabrication, mais peut-être seulement quelques tours de main qui n'entraînent pas de différence bien marquée dans la valeur relative des diverses plaques commercialement concurrentes.

Il semble bien qu'il en soit de même pour les plaques radiographiques. Dans les diverses installations radiographiques bien outillées, on obtient, en effet, à en juger par les articles parus dans les divers journaux scientifiques, des clichés qui se valent, alors que les plaques correspondantes sortent de diverses maisons. Sans doute la valeur d'un cliché dépend non seulement de la sensibilité de la plaque, mais de bien d'autres conditions qui

peuvent varier, soit d'une installation à l'autre, soit, pour une même installation, d'un moment à l'autre. La comparaison des sensibilités de plaques de diverses provenances est dès lors quelque peu illusoire, si elle ne résulte pas de nombreux essais, et la raison que nous donnons ci-dessus pour regarder, sans expériences directes, ces sensibilités comme à peu près égales, a plus de valeur qu'il ne paraît d'abord.

Il importe de remarquer, en outre, que les plaques d'un même fabricant n'ont pas une valeur rigoureusement constante. Bien que la conduite de la fabrication ait toujours lieu suivant les mêmes règles, comme il s'agit là d'opérations fort délicates, les émulsions successives ne sont pas absolument identiques entre elles, et les plaques correspondantes peuvent présenter des sensibilités un peu différentes, ou encore être toutes affectées d'un certain degré de voile, malgré les minutieuses précautions prises par les fabricants.

Les plaques dites pour rayons X présentent-elles, par rapport aux plaques photographiques, quelque particularité de fabrication destinée à en augmenter la sensibilité ? Il semble bien qu'il en soit ainsi, à en juger par les refus qui ont été opposés à nos demandes de renseignements à ce sujet par divers fabricants. Mais nous devons ajouter, par contre, que MM. Lumière n'ont jamais cru devoir cacher leur procédé de fabrication des plaques radiographiques. Ce procédé consiste simplement à augmenter la quantité de bromure de la plaque, non pas en augmentant la proportion de ce sel dans l'émulsion, ce qui entraîne de grosses difficultés de séchage, mais en coulant sur la même plaque plusieurs couches successives.

Enveloppement des plaques radiographiques.— Les plaques sont livrées par le commerce, suivant leurs dimensions, par paquets de 3, 6 ou 12 enveloppés dans du papier épais et inclus dans des boîtes closes, de telle sorte que la lumière ne puisse arriver à la couche sensible. Il est toutefois nécessaire de conserver ces boîtes, si elles ne sont pas immédiatement utilisées, dans une pièce obscure, et à l'abri de l'humidité.

D'autre part, les opérations radiographiques ne peuvent être commodément faites que dans une pièce assez éclairée pour que la manipulation des diverses parties de l'outillage, ainsi que la surveillance à exercer sur le malade, soient faciles.

Il est par suite indispensable de prendre telles précautions grâce auxquelles la plaque sera sûrement soustraite, pendant la pose, à toute action de la lumière ordinaire.

A cet effet, les constructeurs livrent des châssis qui, d'une manière générale, se composent d'une planche bien dressée, sur laquelle repose la plaque par sa face verre, et d'un couvercle, muni d'une lame opaque à la lumière, mais transparente aux rayons X, que l'on rabat et qui se joint à la planche du châssis par des feuillures, grâce auxquelles la lumière extérieure ne peut arriver à la plaque. La lame du couvercle peut être en carton, en ébonite, en aluminium ; ces deux dernières substances présentent, d'autre part, l'avantage

de préserver la plaque contre toute humidité provenant, suivant les cas, de la sueur, du pus ou du sang. Londe a fait construire un châssis dont les bords sont, en outre, munis de pièces de métal dans lesquelles on peut fixer, par un montage à baïonnette, des bandes destinées à immobiliser la région du corps dont on veut obtenir la radiographie ; mais nous reviendrons plus loin sur cette question de l'immobilisation du sujet.

D'autre part, on trouve dans le commerce des enveloppes de papier orange doublées intérieurement de papier noir et gommées ; on introduit la plaque à protéger dans une première enveloppe et celle-ci dans une seconde, de telle sorte que l'ouverture de la première soit au fond de cette seconde ; la plaque est ainsi suffisamment protégée sans qu'il soit nécessaire de fermer l'enveloppe extérieure, que l'on devrait déchirer, après l'impression et au moment du développement, ce qui serait une source de dépenses.

On peut encore, plus simplement, envelopper soi-même la plaque dans deux ou trois feuilles de papier noir aiguille. Pour les plaques de grandes dimensions, ce procédé a l'inconvénient d'exiger le collage, au préalable, des feuilles de papier noir par leur bord, deux à deux, car la dimension de ces feuilles que l'on trouve dans le commerce est alors insuffisante. Dans ce dernier cas, comme les grandes plaques sont destinées à la radiographie du bassin ou du thorax, que, par suite, elles ont à supporter un poids lourd, il est nécessaire, pour éviter qu'elles ne soient brisées, de les faire reposer sur un plan bien dressé et de replier le papier du côté de la face gélatine, sur laquelle s'appliquera le corps du sujet.

Lorsqu'on fait usage d'enveloppes ou de feuilles de papier aiguille, il est indispensable d'en vérifier fréquemment l'intégrité ; toute déchirure permet, en effet, à la lumière extérieure de filtrer et de voiler la plaque pendant son transport ou pendant la pose.

Les enveloppes et les feuilles de papier aiguille sont certainement d'un emploi moins commode que le châssis. Mais cet inconvénient est compensé par quelques avantages. On n'introduit ainsi aucune dénivellation appréciable entre le plan sur lequel repose la région à radiographier et le plan général du lit sur lequel le malade est couché. D'autre part, dans un service radiographique actif, où l'économie de temps est à considérer, l'emploi des enveloppes ou du papier aiguille permet, sans grands frais, d'avoir toujours, prêtes à être employées, un assez grand nombre de plaques de diverses dimensions, résultat qui ne pourrait être atteint que grâce à un assez grand nombre de châssis. Les plaques peuvent, en effet, être préparées, en dehors des heures de séance, et à loisir, par un aide dressé à cet effet. On les conservera, d'ailleurs, comme les plaques encore en boîtes, dans une pièce aussi éloignée que possible de la salle de radiographie, afin qu'elles ne puissent être voilées à distance par les rayons X émis. Si l'on ne dispose pas d'un local assez vaste pour réaliser sûrement cette protection par la seule distance, il suffit de faire doubler d'une épaisse lame de plomb l'armoire dans laquelle les plaques sont enfermées.

Il est enfin à peine besoin d'ajouter que la manipulation relative à l'introduction de la plaque dans le châssis, ou à son enveloppement dans le papier, doit être faite dans le cabinet noir, à l'abri de toute lumière pouvant déterminer un voile.

§ 2. — Impression de la plaque.

Choix du tube.— Avant de procéder à l'impression de la plaque, avant même de l'apporter dans la salle de radiographie, il faut faire choix du tube destiné à fournir le faisceau de rayons X. Il est bon, en effet, en même temps qu'économique, d'avoir à sa disposition toute une série de tubes à des états différents, c'est-à-dire donnant naissance à des faisceaux de rayons plus ou moins pénétrants.

Les tubes, à ce point de vue, sont pratiquement divisés en tubes *mous*, qui engendrent des rayons peu pénétrants, c'est-à-dire des rayons facilement absorbables par les milieux qu'ils traversent, et en tubes *durs* dont les rayons X sont pénétrants, c'est-à-dire peu absorbables. Ces caractères distincts que peuvent présenter les rayons X émis par un tube sont, d'ailleurs, en rapport avec l'état du vide intérieur, c'est-à-dire avec la résistance plus ou moins grande que le tube oppose à la décharge électrique. D'où un moyen facile pour reconnaître, avant la pose, l'état d'un tube quelconque. Il suffit pour cela, pendant que le tube est actionné, de rapprocher progressivement les parachutes de la bobine jusqu'à ce que la décharge s'opère dans l'air entre les extrémités de ces tiges métalliques; s'il est nécessaire, pour obtenir cette décharge dans l'air, de rapprocher les parachutes assez près l'un de l'autre, le tube est mou ; le tube est au contraire dur si l'étincelle jaillit déjà lorsque les parachutes sont encore assez éloignés. Il est, d'ailleurs, bien évident que tous les états intermédiaires entre les extrêmes peuvent exister; en outre, un même tube passe successivement, mais d'une façon plus ou moins rapide et quelquefois irrégulière, par ces divers états. Or, en général, mais non toujours, ainsi que nous allons le démontrer plus bas, il y a avantage à se servir d'un tube plus ou moins mou. Avec un tel tube, en effet, et lorsqu'il s'agit d'explorer une partie du squelette, ce qui est le cas général, ou lorsqu'on veut s'assurer de la présence au sein des tissus d'un objet métallique, avec un tube mou, disons-nous, la plaque, après développement, présentera dans ses diverses parties une opposition marquée, les ombres des parties plus opaques, os ou métal, se détacheront vivement du fond environnant, plus sombre, correspondant aux divers tissus de l'organisme, plus transparents aux rayons X; le cliché radiographique sera bon. Un tube dur, au contraire, donnant des rayons pénétrants dont l'absorption par les divers tissus de l'organisme ne présente pas des différences bien considérables, fournit toujours, quoi qu'on fasse, un cliché gris, sans opposition ni relief.

L'emploi d'un tube mou est donc préférable, d'une manière générale.

Malheureusement, les tubes mous sont des tubes peu puissants; leur faisceau de rayons X peut n'avoir qu'une intensité trop faible pour traverser, en quantité suffisante, des régions un peu épaisses et donner de bons clichés, à moins que l'on n'augmente dans une proportion par trop considérable la durée de la pose. De là découle avec évidence l'utilité de toute une série de tubes à des états divers de fonctionnement, c'est-à-dire plus ou moins durs. Suivant l'épaisseur de la région à radiographier, on choisira celui d'entre eux qui pourra donner une opposition encore assez grande, sans que le temps de pose doive cependant être accru jusqu'à devenir trop pénible pour le malade ; les tubes les plus mous seront utilisés pour la main et le pied, les plus durs pour la tête et l'abdomen. Il y a là une question de mesure sur laquelle il n'est guère possible de donner des indications très précises, mais que la pratique permet de résoudre avec une exactitude suffisante.

D'autres considérations interviennent encore dans le choix du tube. Le sujet doit garder, pendant la pose, une immobilité absolue sur un lit de camp à revêtement de plomb, comme nous le dirons plus loin; la région à radiographier, tout au moins, doit reposer sur un plan résistant recouvert de plomb et destiné à recevoir la plaque; d'autre part, il peut être difficile, ou même douloureux, pour le malade, de rester immobile dans la position qu'on doit quelquefois lui donner afin d'obtenir des renseignements radiographiques précis; d'autre part encore, on a fréquemment à radiographier des enfants indociles, apeurés, d'ailleurs, par l'outillage radiographique ou par le souvenir des souffrances qu'ils ont fréquemment endurées au moment d'explorations cliniques antérieures auxquelles ils ont été soumis. Pour toutes ces raisons, dont on aura à apprécier l'importance dans chaque cas particulier, il peut être indispensable de diminuer la durée de la pose jusqu'à l'extrême limite possible, et de faire usage d'un tube dur, sacrifiant ainsi l'opposition à la netteté, qu'il importe avant tout de réaliser.

Mais si le malade est docile, s'il ne lui est pas trop pénible de conserver l'immobilité, il y a avantage à préférer un tube mou. C'est ainsi que l'un de nous a pu obtenir par une pose de 30 minutes, avec un tube très mou, de remarquables clichés de bassin d'adulte, alors qu'en 3 ou 4 minutes un tube dur eût pu fournir une épreuve, souvent suffisante, de la même région.

Les remarques actuelles ne sont, d'ailleurs, pas dictées par une sorte d'amour-propre exagéré en vertu duquel, sans prendre en considération les souffrances inutiles que l'on peut être ainsi amené à imposer au malade, on se préoccuperait uniquement d'obtenir des clichés vigoureux et flatteurs pour le radiographe. Sans doute, un cliché médiocre comme opposition, mais dans lequel les bords des ombres ont une grande netteté due à l'immobilité du malade, peut être parfaitement suffisant s'il s'agit de déceler une fracture, une luxation ou la présence d'un corps étranger. Au contraire, lorsque le diagnostic à confirmer ou à fixer par la radiographie est relatif à une altération osseuse, qui peut encore être peu accusée, les qualités d'opposition à réaliser dans les clichés prennent une importance capitale, et

c'est à des cas de ce genre que s'appliquent plus spécialement les considérations que nous venons de présenter.

Aussi l'opposition est-elle l'une de nos préoccupations, non pas exclusive, mais constante ; on l'obtient facilement, dans la mesure compatible avec chaque cas particulier, au moyen d'une série de tubes à divers états de fonctionnement.

La possession d'une série de tubes est, d'autre part, économique, avons-nous dit.

Un tube mou, en effet, fournit, avec une durée de pose relativement minime, de bons clichés pour des régions peu épaisses ; au contraire, on userait inutilement ce tube, si on l'employait, dans cet état, à radiographier des épaisseurs plus considérables, car il ne donnerait des épreuves suffisantes qu'à partir du moment où, par suite même du fonctionnement, il aurait acquis un certain degré de dureté. La dépense de rayons X correspondant au début du fonctionnement constituerait donc une perte, tandis qu'on utilisera ces mêmes rayons si l'on emploie d'abord le tube pour des régions moins épaisses ; il sera également économique de se servir du même tube pour des épaisseurs de plus en plus grandes, à mesure que sa dureté deviendra de plus en plus marquée. Ce serait, de même, se livrer à une prodigalité inutile de rayons X que d'employer un tube dur à radiographier une main, au lieu de le réserver exclusivement pour les régions épaisses, qu'il peut seul traverser.

Il est donc sage et économique de réaliser toujours le rendement maximum utile, en faisant correspondre aussi rigoureusement que possible l'état de dureté du tube avec l'épaisseur de la région à radiographier.

Il semble, enfin, résulter des enseignements puisés dans une pratique déjà longue de la radiographie, que la durée totale d'un tube est d'autant plus grande que les périodes de temps, pendant lesquelles il est actionné, sont moins fréquentes et plus espacées ; de là résulte un nouvel élément d'économie réalisé par la possession simultanée de toute une série de tubes à divers états de fonctionnement. Nous dirons, d'ailleurs, plus loin par quels procédés pratiques cet état de fonctionnement peut être assez exactement apprécié, pendant la pose même.

Distance du tube à la plaque.— La considération de cette distance est importante pour diverses raisons.

Le cliché radiographique étant, non pas une image, mais une projection conique, la grandeur des ombres de chacune des parties opaques de la région radiographiée dépend de cette distance. Par suite, et sans tenir compte actuellement de l'influence de la position du tube dans l'espace sur les rapports des ombres radiographiques, point sur lequel nous reviendrons plus loin, on peut dire que la déformation qui résulte du mode même d'obtention du cliché sera d'autant plus grande que le tube sera situé plus près du corps du malade et par conséquent plus près de la plaque.

Le cliché n'offrira donc la reproduction exacte des dimensions de l'objet

à radiographier que si le faisceau de rayons X est parallèle, c'est-à-dire si le tube est infiniment loin de la plaque. Cette condition est irréalisable dans la pratique, mais il faut du moins, en éloignant le tube, s'en rapprocher dans la mesure compatible avec les diverses conditions dans lesquelles on opère.

D'autre part, le faisceau de rayons X émis par la lame focus d'un tube à vide est divergent, et, abstraction faite de l'absorption par l'air, son intensité, rapportée à l'unité de surface normale à la direction des rayons, est en raison inverse du carré de la distance de cette surface au point d'émission. Toutes choses égales d'ailleurs, un cliché sera donc d'autant plus impressionné que le tube aura été plus près de la plaque ; mais nous venons de dire que ce rapprochement entraîne des déformations et nous allons voir, en outre, qu'il fait courir au malade un danger de brûlures douloureuses que le radiographe doit éviter de provoquer.

Dès les premiers mois qui suivirent la découverte de Röntgen, on signala de divers côtés la production de ces brûlures qui survenaient à la suite d'expositions prolongées, et à faible distance du tube générateur de rayons X, d'une partie du corps, mais qui, d'autre part, n'apparaissaient que plusieurs jours après la pose. Il sera spécialement question de ces brûlures dans l'un des chapitres suivants ; il suffit donc de signaler ici le danger qu'elles présentent. Avec les tubes, cependant puissants, que livrent aujourd'hui les constructeurs, nous n'avons d'ailleurs jamais provoqué de brûlure en disposant le tube à environ 50 centimètres de la plaque, quelle que fût d'ailleurs l'épaisseur de la région du corps soumise à la radiographie.

Cette distance de 50 centimètres paraît être la distance moyenne assez généralement adoptée, sauf raisons spéciales d'en choisir une autre ; on peut toutefois sans inconvénient l'abaisser pour des régions peu épaisses, telles que la main et le pied.

Orientation du tube.— Un tube à vide ne donne pas de rayons X en arrière de la lame focus anticathodique. D'autre part, en disposant le tube à petite distance d'une plaque d'assez grandes dimensions, Buguet et Londe ont constaté que l'intensité n'était pas uniforme dans toute l'étendue du champ actif, que les irrégularités dépendaient du type de tube employé et pouvaient même varier avec divers tubes d'un même type. Il peut donc être utile de déterminer, par une épreuve, la topographie de l'intensité dans l'ensemble du champ actif, pour chacun des tubes dont on fait usage.

D'une manière générale, lorsque la région à radiographier présente des épaisseurs assez différentes (main, pied, etc.), il faut orienter l'axe du tube dans le sens de l'axe de la région, de telle sorte que les parties les plus épaisses soient du côté où le plan prolongé de la lame focus vient rencontrer le plan sur lequel la plaque repose. Au contraire, dans le cas d'un membre à épaisseur sensiblement uniforme, il vaut mieux orienter le tube de manière à ce que son axe soit perpendiculaire à celui du membre à radiographier.

Positions relatives de la plaque, du sujet et du tube. — Ces

positions relatives devront être indiquées, pour chaque cas particulier, dans les divers chapitres consacrés aux diverses affections justiciables d'un examen radioscopique ou radiographique ; nous n'avons donc à donner ici à ce sujet que des indications sommaires et générales.

Une condition générale à réaliser est de placer le plus près possible de la plaque la région à explorer, afin que les ombres dont se composera l'épreuve soient le plus nettes possible. Il suffira, en général, pour réaliser cette condition, de faire reposer directement sur la plaque enveloppée de papier noir, ou sur le châssis qui la contient, la région à radiographier. Toutefois, le contact de cette région avec la plaque peut être impossible à obtenir, soit par suite de la courbure naturelle de la région, soit par suite d'une ankylose, etc., et il peut être avantageux de substituer à la plaque une pellicule pouvant en quelque sorte se mouler sur la surface du corps. L'emploi d'une pellicule est en outre seul possible, lorsqu'on a besoin d'une radiographie nette de l'arcade dentaire ; la pellicule est, d'autre part, d'un emploi commode dans ce dernier cas, car il est facile d'en régler à coup de ciseaux la forme et la dimension, et de l'appliquer, après enveloppement dans un papier aiguille, contre la face interne de l'arcade, où on la maintiendra avec le doigt, tandis que le tube sera disposé en face et à distance convenable.

D'autre part, la direction suivant laquelle les rayons X abordent la région à radiographier n'est pas indifférente. Il est évident, par exemple, que, dans un cas de luxation, si le tube est placé sur la direction du déplacement de l'os luxé, ce déplacement ne pourra être révélé par le cliché.

Certaines portions du squelette, en outre, se détachent plus ou moins bien sur le cliché et sont en quelque sorte plus ou moins isolées des parties osseuses voisines suivant les positions relatives de la plaque, du corps du malade et du tube. C'est ainsi, par exemple, qu'une fracture du corps de l'omoplate sera, en général, difficilement décelée par la radiographie si le malade est couché sur la plaque, car l'ombre de l'omoplate sera compliquée et sillonnée par les ombres des parties postérieure et antérieure de diverses côtes ; au contraire, l'omoplate sera mieux isolée et la fracture du corps de cet os plus facilement reconnue en général, si le malade repose sur la plaque par la région latérale correspondante du thorax, et si le tube est placé un peu en arrière du plan vertical déterminé par le dos du sujet.

L'aspect d'un cliché et son interprétation dépendent, d'autre part, essentiellement des positions relatives du tube, de la plaque et de la région à explorer dans les cas de fractures, et le chevauchement des ombres des deux fragments de l'os fracturé pourra être plus grand ou plus petit que le chevauchement réel, suivant la position du tube par rapport au siège de la fracture. Ces diverses considérations montrent qu'il est indispensable, dans l'interprétation d'un cliché, de tenir compte des positions relatives du tube, de la plaque et du sujet, positions sur lesquelles le cliché ne donne aucun renseignement, à moins que des précautions particulières n'aient été prises.

Cette question de l'incidence des rayons X, qui prend une importance ca-

pitale dans la radioscopie des organes thoraciques, sera longuement et rigoureusement étudiée dans un des chapitres suivants. Nous n'avons donc à indiquer ici que les procédés simples, qui ne comportent pas, il est vrai, une grande précision, mais qui sont cependant, en général, suffisants pour les besoins de la pratique radiographique courante.

On peut, par exemple, tout au moins, au moment où l'on glisse la plaque sous le malade, placer celle-ci de telle sorte que son centre, point de rencontre de ses diagonales, soit à peu près verticalement au-dessous du centre de la région à radiographier, et disposer ensuite le tube de manière que la lame focus soit elle-même verticalement au-dessus de cette même région. Ce repérage approximatif, et facile à réaliser au moyen d'un fil à plomb, est suffisant lorsque la distance du tube à la plaque est en outre connue, dans les cas où l'interprétation du cliché ne doit pas se traduire par des nombres précis.

Contremoulins fixe, sur l'enveloppe de la plaque, un repère opaque au point où tombe la perpendiculaire abaissée de la lame focus sur cette plaque, et dispose ensuite le sujet de telle sorte que le centre de la région à explorer, région que l'on aura au besoin déterminée par un rapide examen radioscopique préalable, soit situé sur cette perpendiculaire. Mais ce procédé nécessite le déplacement, par tâtonnement, du malade par rapport à la plaque et au tube maintenus fixes, et c'est là une manœuvre qui nous paraît assez longue et quelque peu difficile, dans les cas assez fréquents où tout mouvement provoque de vives douleurs.

H. Bertin-Sans a fait connaître un procédé simple et suffisamment précis qui sera décrit ailleurs.

Immobilisation du sujet.— Il est à peine besoin de faire remarquer qu'un cliché ne peut être bon que si le sujet est resté immobile pendant la pose ; il résulte de là qu'on ne saurait prendre trop de précautions pour s'assurer, dans la mesure du possible, de cette immobilité.

A cet effet, il faut éviter de faire prendre au malade une position fatigante, nécessitant des contractions musculaires, et il est indispensable de lui donner des points d'appui solides et multiples, dont la distribution et le nombre dépendent de la position choisie. Même dans la position la plus naturellement stable, le décubitus dorsal, le membre à radiographier doit être calé en divers points, si l'on ne veut s'exposer à obtenir des clichés souvent inutilisables par leur défaut de netteté. Les points d'appui peuvent consister en bras mobiles le long des bords du lit sur lequel le malade est couché ; il est plus simple, et en général suffisant, de donner comme points d'appui des masses de plomb assez lourdes entre lesquelles on serre le membre à immobiliser.

Malgré toutes les précautions que l'on peut prendre, il est des cas dans lesquels l'immobilité ne peut être obtenue ; c'est, en particulier, le cas des enfants, dont les muscles sont souvent le siège de contractions involontaires assez énergiques, et des tabétiques, dont les membres, même au repos, sont animés de mouvements semblables.

Aussi est-il utile de surveiller le malade pendant la pose et d'arrêter le fonctionnement du tube, si un mouvement d'une certaine étendue vient à être constaté. On peut encore, en effet, puiser des indications utiles dans l'examen d'un cliché insuffisamment posé, mais net, dont on peut d'ailleurs, au besoin, poursuivre le développement; il est, au contraire, souvent impossible de tirer aucun renseignement d'un cliché flou.

Durée de pose.— Les diverses parties dont se compose l'outillage radiographique, plaque et malade compris, exercent chacune une influence sur la durée de pose nécessaire pour l'obtention d'un bon cliché, et il est dès lors impossible de fixer cette durée d'une façon précise.

Toutes choses égales d'ailleurs, en effet, la durée de pose devra être réglée d'après :

L'intensité du courant primaire ;

La puissance de la bobine ;

La nature de l'interrupteur (interrupteur à contact métallique, à contact de mercure, interrupteur électrolytique) ;

La fréquence des interruptions ;

L'état du tube à vide ;

La distance du tube à la plaque ;

La sensibilité de la plaque ;

L'épaisseur et l'état de la région à radiographier (œdème, pansement, appareil plâtré ou silicaté, etc.).

Ces éléments divers, qui influencent la durée de la pose, peuvent être divisés en deux groupes. Les uns, en effet, sont fixes et invariables pour une même installation, comme la puissance de la bobine et la nature de l'interrupteur, ou variables au gré du radiographe, ce qui est le cas de l'intensité du courant primaire, de la fréquence des interruptions, de la distance du tube à la plaque ; les autres, au contraire, varient accidentellement : épaisseur et état de la région à radiographier, et surtout état du tube. On conçoit dès lors qu'aucune indication précise ne puisse être donnée et qu'une éducation spéciale, résultant de la préparation de quelques clichés au moyen de chaque outillage déterminé, soit indispensable.

D'une manière générale, avec les bonnes installations courantes que livrent aujourd'hui divers constructeurs, il n'est jamais indispensable de faire durer la pose au delà d'un petit nombre de minutes, même pour la radiographie de la tête ou du bassin. Cette durée n'est donc plus, en général, une obligation pénible pour le malade, comme au début de la radiographie, et il est dès lors permis, dans bien des cas, de la prolonger dans une certaine mesure, au grand bénéfice de la vigueur du cliché que l'on préparera avec un tube moins dur. Nous avons dit, par exemple, plus haut, à quels remarquables résultats on arrive en prolongeant jusqu'à trente minutes la durée de la pose pour un bassin d'adulte, si l'on se sert d'un tube relativement mou. Ce n'est pas certes que ce retour aux poses longues soit à recommander d'une façon absolue, mais il importe de savoir qu'il y a moins à se

préoccuper aujourd'hui d'une réduction du temps de pose que de la préparation de bons clichés pouvant fournir tous les renseignements que le procédé d'investigation, basé sur l'emploi des rayons X, est capable de donner.

Parmi les divers éléments dont il y a lieu de tenir compte pour fixer la durée de la pose, il en est un, l'état du tube, qui doit être considéré ici.

Un tube, avons-nous dit déjà, évolue progressivement depuis l'état qualifié mou, dans lequel nous le livre le fabricant, jusqu'à l'état qualifié dur, et l'on sait combien varie le degré de pénétration des rayons X émis pendant cette évolution, qui peut d'ailleurs être fort irrégulière. En outre, un tube ne se retrouve pas toujours, au commencement d'une séance, dans l'état où il était à la fin de la séance précédente, la veille, ou plusieurs jours avant. Il est donc nécessaire de pouvoir apprécier, tout au moins avec l'approximation un peu grossière qui est cependant suffisante pour les besoins de la pratique, l'état actuel du tube que l'on se propose d'employer.

Le son que rend le tube pendant le fonctionnement, l'aspect de la fluorescence du verre, si la salle n'est pas trop éclairée, fournissent déjà quelques renseignements si l'on a quelque pratique de la radiographie. Mais ce mode d'appréciation est insuffisant, et l'on peut en employer de plus précis.

Deux méthodes peuvent être utilisées à cet effet. L'une est basée sur la propriété que possèdent les rayons X de décharger les conducteurs électrisés ; l'autre utilise l'action de ces mêmes rayons sur le platino-cyanure de baryum.

Pour employer la première méthode, il faut déterminer par l'expérience le nombre de secondes nécessaires pour obtenir la décharge complète d'un électroscope disposé à une distance déterminée de l'ampoule en marche et auquel on a préalablement communiqué une charge telle que les lames d'or ou d'aluminium présentent entre elles un écartement qui devra être le même dans toutes les expériences.

L'autre méthode, moins exacte, doit cependant être préférée dans la pratique, car elle se prête mieux à la combinaison d'instruments d'un maniement facile. On suppose, dans cette méthode, que, pour tout faisceau de rayons X, l'intensité lumineuse observée sur un écran fluorescent est dans un rapport assez constant avec l'intensité d'impression correspondante de la plaque radiographique pendant l'unité de temps, ce qui est suffisamment exact pour le degré d'approximation que l'on se propose de réaliser. Mais, d'autre part, ce degré d'approximation est d'autant plus variable avec l'état de fatigue dans lequel se trouve actuellement la rétine de l'observateur, que la luminosité de l'écran fluorescent n'est jamais bien intense ; c'est là une nouvelle raison pour réduire dans une forte proportion l'éclairage de la salle de radiographie.

Le fluoroscope de Ducretet se compose d'un tube oculaire dont l'une des extrémités est obturée par un écran à face fluorescente tournée vers l'intérieur. On dirige le tube de telle sorte que les rayons X tombent sur la face externe de l'écran, et l'on apprécie directement avec l'œil la luminosité du platino-cyanure de baryum.

Avec la lunette photométrique de Buguet, qui est semblable à l'instrument précédent, on apprécie mieux l'intensité de la fluorescence grâce à des lames d'épaisseurs croissantes et diaphanes, dont est recouvert le platino-cyanure ; pour une distance déterminée de l'écran à l'ampoule, l'intensité du faisceau des rayons X est d'autant plus grande que l'on voit un plus grand nombre de plages en lesquelles l'écran est divisé par l'échelle diaphane. Cet instrument est complété par la lunette diaphotométrique ; celle-ci s'obtient en remplaçant l'échelle diaphane précédente par une échelle métallique, disposée, non plus contre le platino-cyanure, mais entre la source et l'écran, et constituée par une série de lames juxtaposées d'aluminium, d'étain et de plomb. On estime le pouvoir de pénétration des rayons X émis par le nombre de plages visibles à une distance déterminée de la source. L'instrument permet d'apprécier, sous sa première forme, l'intensité du faisceau des rayons X et, sous sa deuxième, le pouvoir de pénétration de ces rayons.

A. Imbert et Bertin-Sans ont fait construire un photomètre spécial qui, par une seule observation, donne des renseignements à la fois sur l'intensité et le pouvoir de pénétration des rayons émis. L'instrument comprend encore un écran fluorescent encastré sur la face supérieure d'une boîte parallélipipédique en bois, dont les parois sont garnies intérieurement de plomb et dont l'une des faces latérales est munie de deux œilletons. L'écran est surmonté, extérieurement, d'un prisme en aluminium, et des fils de plomb, parallèles à l'arête du prisme et équidistants entre eux, sont disposés entre le prisme et l'écran. En explorant, avec cet instrument, les rayons X émis par une ampoule en activité, on peut apercevoir sur l'écran l'ombre d'un nombre d'autant plus considérable de fils de plomb que le faisceau est plus intense. La dégradation plus ou moins marquée de la luminosité de l'écran, que l'on observe d'ailleurs par réflexion sur un miroir plan inclus dans la boîte, permet, en outre, de juger du pouvoir de pénétration des rayons.

Londe a fait judicieusement remarquer qu'il est plus rationnel de pratiquer l'exploration au delà de la région du corps à radiographier, de manière à obtenir des renseignements sur l'intensité du faisceau après que l'absorption par le corps du malade s'est effectuée, et au niveau même de la plaque. Aussi dispose-t-il, au-dessous de la table en bois sur laquelle on fait coucher le malade, l'écran fluorescent, qu'il observe par réflexion sur un miroir plan. Mais ce mode opératoire n'est plus applicable lorsqu'on a muni la table d'un revêtement de plomb comme on verra qu'il est bon de le faire ; d'ailleurs, il suffit de quelque pratique pour apprendre à déduire, de l'observation du faisceau dans le voisinage de l'ampoule, des indications suffisamment précises quant à la durée nécessaire de la pose.

Il est à peine besoin de faire remarquer que les procédés d'exploration dont nous venons de parler peuvent être employés pendant la pose même. Il importe, d'autre part, de remarquer que l'appréciation de l'intensité lumineuse de l'écran fluorescent des divers instruments que nous venons de décrire est largement influencée par l'état antérieur de la rétine. Aussi est-

il nécessaire, à ce point de vue, d'opérer dans une salle peu éclairée, de ne pas s'en rapporter à la première impression, au moment où l'œil est appliqué à l'instrument, mais de prolonger quelque peu l'examen avant de conclure de ce que l'on voit à l'état actuel du tube utilisé.

Voile des plaques. — Lorsque la pose a été un peu longue, la plaque, après développement, est très souvent voilée, sans que le voile puisse être attribué à l'action du révélateur. La teinte grise uniforme qui atténue alors la vigueur du cliché est due aux rayons secondaires, qui prennent naissance, comme on l'a vu dans l'un des chapitres précédents, sur tout corps frappé par les rayons X, et dont les propriétés sont analogues à celles des rayons qui les engendrent ; les tissus traversés, les couches d'air les plus voisines de la plaque, la matière (généralement le bois) sur laquelle la plaque repose, émettent donc des rayons secondaires qui, malgré leur absorption assez rapide par l'air, arrivent en partie jusque sur la couche de bromure et déterminent une impression générale et uniforme qui, si la pose a été un peu longue, se traduit par un voile apparent. Or, les rayons secondaires du plomb sont entièrement absorbés par une couche d'air de quelques millimètres d'épaisseur et sont impuissants, en outre, à traverser le papier noir aiguille ; de là l'avantage qu'il y a à faire reposer la plaque radiographique sur une lame de plomb, pour éviter l'action nuisible des rayons secondaires plus pénétrants auxquels le bois donne naissance.

L'avantage de cet écran dorsal en plomb, bien qu'il ne soit pas très considérable, a été nettement mis en évidence par H. Bertin-Sans et Gagnière, qui, pour opérer dans les meilleures conditions possibles en vue d'une comparaison, ont muni d'un tel écran la moitié seulement de la face postérieure d'une plaque sur laquelle ils radiographiaient un bassin. Pour des poses de 10 à 12 minutes, le tube étant à 60 centimètres de la plaque ; une action favorable nette de l'écran dorsal a pu ainsi être constatée. D'autre part, des écrans latéraux en plomb, destinés à protéger la plaque contre les rayons secondaires émis par les corps environnants, n'ont pas paru, dans les mêmes conditions expérimentales, exercer une influence appréciable ; comme, d'ailleurs, ces écrans latéraux sont encombrants et d'un emploi peu commode, leur usage n'est pas à recommander, et il ne semble pas qu'il en soit fait nulle part systématiquement usage.

Ajoutons que le voile dû aux rayons secondaires est d'autant moins à craindre que le tube utilisé est plus mou, même lorsque la pose a eu une longueur excessive ; c'est ainsi que sur le cliché dont nous avons déjà parlé, obtenu au moyen d'un tube mou avec une pose de 30 minutes et relatif à un bassin d'adulte, il n'existe pas la moindre trace de voile, bien que le développement, en raison des conditions mêmes de l'expérience, ait été lentement poursuivi pendant plus d'une heure.

Plaques à double couche et pellicules.—A l'époque déjà lointaine où la réduction du temps de pose était l'une des préoccupations importantes en radiographie, on préconisa l'emploi des plaques recouvertes d'émulsion

sur chacune de leurs faces. La quantité de rayons X absorbés par la couche sensible et, par suite, utiles, étant en réalité minime, il était rationnel de songer à arrêter en partie, grâce à une deuxième couche de gélatine sensibilisée, les rayons non absorbés par la première et par suite perdus. L'impression se fait alors sur les deux côtés de la plaque à la fois, et le cliché, regardé par transparence, présente une intensité générale plus grande. Mais ces plaques sont d'une fabrication difficile, leur prix de revient est plus élevé, et leur maniement, dans les divers bains, est délicat. D'autre part, les détails correspondants de chacun des deux clichés dont se compose en réalité chaque plaque ne se superposent pas rigoureusement lorsqu'on examine la plaque par transparence, et l'on perd en partie en netteté ce que l'on gagne en vigueur d'impression. Cet inconvénient est surtout sensible lorsqu'on veut préparer un tirage du cliché sur papier. Le principe est cependant à retenir, et peut-être serait-il bon d'employer deux plaques superposées par leur face gélatine dans les cas où l'on a de justes craintes de ne pouvoir prolonger la pose pendant la durée nécessaire.

C'est le même principe encore que Lumière a utilisé dans la préparation des plaques à couches sensibles superposées sur la même face de la plaque.

Jougla a substitué aux plaques des pellicules dont chaque face est recouverte d'émulsion, ce qui supprime l'inconvénient du défaut de superposition des deux impressions radiographiques lors de l'examen par transparence. Il serait même possible de superposer deux ou plusieurs pellicules, mais on accroîtrait ainsi notablement les dépenses relatives à chaque opération, car, à dimensions égales, le prix de revient des pellicules est presque double de celui des plaques.

Rappelons que l'emploi des pellicules est avantageux dans les circonstances où une plaque, par suite de sa rigidité et de la forme de la région à radiographier, ne peut être appliquée contre cette région, et que cet emploi s'impose lorsqu'on veut obtenir une radiographie de l'arcade dentaire.

Écrans renforçateurs. — La même idée qui avait conduit à essayer des plaques émulsionnées sur chaque face fit songer à rechercher si l'on n'obtiendrait pas un bénéfice semblable en disposant au-dessus et au-dessous de la plaque un écran fluorescent. Dans les régions correspondant aux parties les plus transparentes des corps à radiographier, la proportion des rayons X non absorbés est plus considérable, et la fluorescence de l'écran plus grande ; la lumière plus intense émanée de ces régions plus brillantes de l'écran ajoutant son effet à celui des rayons X arrivés jusqu'à la plaque, celle-ci devait par cela même être plus fortement impressionnée.

Des essais dans ce sens ont été tentés par Bratelli et Garbasso, qui plaçaient la substance fluorescente derrière la plaque, par Basilewski, qui disposait au contraire au-dessus de la plaque l'écran fluorescent, par Seguy, qui introduisait la plaque entre deux écrans au sulfure de calcium violet de Becquerel.

Londe a nettement mis en évidence les avantages et les inconvénients qui

résultent de l'emploi des écrans dits renforçateurs, ainsi que l'intensité d'action des principales substances que l'on peut songer à utiliser. Ces expériences ont porté sur :

1° L'écran Kalbaum ;

2° L'écran au sulfure de Zn de Ch. Henry ;

3° L'écran au sulfure violet de Becquerel ;

4° L'écran au platino-cyanure de baryum (grains fins) ;

5° — — (grains gros).

Les rayons X déterminent sur ces écrans, lorsqu'ils les rencontrent, des colorations : violet très foncé pour le premier, gris à peine visible pour le second, violet bleu clair pour le troisième, vert jaune pour le quatrième et le cinquième ; l'écran au sulfure de zinc est d'ailleurs phosphorescent, et les autres seulement fluorescents.

Londe disposa un fragment de chacun de ces écrans, couche contre couche, sur une même plaque dont une partie, destinée à servir de terme de comparaison, resta non recouverte. Après exposition aux rayons X et développement, la plaque se montra très différemment impressionnée dans ses diverses plages, et l'ordre croissant de l'intensité de l'impression fut le suivant :

Plage correspondante à l'écran au platino-cyanure (grain fin).

— — — (grain gros).

— — sulfure de Ch. Henry.

— — plaque nue.

— — sulfure de Becquerel.

— — Kalbaum.

De l'avis de Londe, ce résultat ne peut être regardé comme général, les écrans constitués par une même substance pouvant présenter des différences marquées de phosphorescence ou de fluorescence suivant leur provenance.

Recommençant l'expérience en disposant au-dessus de la plaque une grille métallique, Londe constata que les bords des ouvertures de la grille radiographiée étaient très nets dans les régions où la plaque était nue ou recouverte d'écrans sans action sensible ; ces mêmes bords furent flous dans les régions de la plaque recouverte des écrans à effets renforçateurs marqués. Cette différence d'aspect disparaissait d'ailleurs si l'on interposait une feuille de papier noir entre les écrans et la plaque, et subsistait au contraire avec les plaques antihalos, les pellicules ou le papier sensible. Le flou correspondant aux écrans actifs devait donc être rapporté à la lumière propre des écrans, dont chaque point diffuse jusqu'à une certaine distance à cause de l'absence de contact parfait entre la substance fluorescente et la couche sensible à la lumière.

Certains écrans peuvent donc exercer une influence renforçatrice ; mais cet effet utile n'est obtenu qu'au détriment de la netteté. Toutefois, ainsi que le fait remarquer Londe, l'usage de ces écrans peut être utile dans les cas (fracture, projectile, etc.) où la netteté importe moins que l'intensité d'impression.

§ 3. — Développement.

Généralités. — La pose terminée, on porte la plaque dans le cabinet noir, où l'on procède au développement.

Le développement des plaques impressionnées par les rayons X se fait suivant les mêmes règles et avec les mêmes substances que celui des plaques photographiques. C'est dire que les innombrables formules qui ont été indiquées pour ce dernier cas peuvent être employées par le radiographe.

On peut presque poser en principe que le meilleur bain de développement est celui avec lequel on s'est familiarisé, bien que certains d'entre eux présentent quelques qualités particulières. Aussi décrirons-nous le mode opératoire relatif à deux bains seulement. Nous recommandons de préférence le premier, parce qu'il peut se conserver longtemps, qu'il est donc toujours prêt à servir, que le prix de revient du développement d'un cliché est très minime, et que l'on peut, avec quelque habitude, mener à bien assez rapidement le développement de toute plaque dont la pose a été à peu près ce qu'elle devait être ; le second bain que nous considérerons présente, d'autre part, le double avantage de montrer nettement l'action des divers corps qui entrent dans la composition d'un révélateur et de permettre même, lorsque la plaque a été sur ou sous-exposée, sans trop d'excès, de conduire l'opération, lentement il est vrai, mais assez sûrement pour qu'il soit possible de tirer du cliché tout ce qu'il peut donner.

Bain au métol et à l'hydroquinone. — La formule de ce bain est la suivante :

Eau distillée.	1.000	grammes.
Sulfite de soude anhydre. .	75 à 100	—
Hydroquinone	9	—
Carbonate de potasse. . .	40	—
Métol	3	—

On le prépare en chauffant d'abord l'eau distillée, dans laquelle on fait successivement dissoudre les divers produits dans l'ordre indiqué par le tableau précédent.

Un tel bain, lorsqu'il a déjà servi au développement d'un ou plusieurs clichés, doit être mis dans un flacon avec l'étiquette « bain vieux », car on l'utilisera encore pour des clichés ultérieurs.

Le développement doit être conduit ainsi qu'il suit :

On verse une quantité suffisante de bain vieux dans une cuvette en porcelaine de dimension convenable, puis on plonge le cliché dans ce liquide, face gélatine en haut, et l'on agite.

Si l'image apparaît au bout de quelques minutes, on continue le dévelop-

pement sans modifier le bain. On voit alors l'image s'accuser graduellement, et l'on aperçoit successivement les grands noirs d'abord, puis l'ombre des parties charnues, dont la teinte est plus ou moins foncée, et enfin le squelette, qui correspond aux parties les plus claires, c'est-à-dire les moins impressionnées du cliché.

L'action du bain continuant, les parties qui se montrent les moins sombres à l'examen par transparence devant une lumière artificielle, tamisée par un verre rouge monochromatique, noircissent de plus en plus, et les régions correspondantes du cliché paraissent bientôt perdre de leur vigueur primitive. Il ne faut pas pour cela se hâter de retirer le cliché, car on ne saurait trop recommander de pousser à fond le développement d'un cliché radiographique.

Un photographe cherche à obtenir un cliché doux, sans oppositions heurtées, tandis qu'un radiographe se préoccupe de rendre les plaques vigoureuses ; à cet effet, on devra pousser le développement jusqu'à ce que la plaque présente les deux caractères suivants : l'image, observée par transparence, ne doit plus se distinguer nettement des bords noirs du cliché ; et la face verre de la plaque, examinée par réflexion, doit offrir un reflet général encore un peu blanchâtre. A ce point du développement, la plaque est retirée du bain révélateur et portée dans un bain de fixage, dont il sera parlé plus loin.

Lorsque, contrairement à ce que nous avons supposé ci-dessus, l'image n'apparaît pas encore plusieurs secondes après l'immersion de la plaque dans le bain révélateur, c'est une preuve que la pose a été plus ou moins insuffisante. On ajoute alors, à diverses reprises, une petite quantité de bain neuf, jusqu'à ce que l'image commence à apparaître, mais en ayant soin de laisser s'écouler plusieurs minutes entre deux additions successives.

Quand l'image n'apparaît pas, même après plusieurs additions successives de bain vieux, c'est que la pose a été notablement inférieure à ce qu'elle aurait dû être ; il faut dans ce cas plonger la plaque dans un bain entièrement neuf.

Il peut se faire alors que l'image apparaisse trop rapidement et risque de se voiler ; mais on conjure ce danger en suivant avec soin le développement et en reportant aussitôt la plaque, si on le juge nécessaire, dans le bain vieux, ou en ajoutant quelques gouttes d'une solution à 10 p. 100 de bromure de potassium, dont l'effet est d'empêcher, ou tout au moins de retarder, l'apparition du voile.

L'opération du développement est, en somme, une œuvre d'habileté et de patience qui exige quelquefois plus d'une heure, si l'on veut faire apparaître sur le cliché tous les détails qu'il est possible d'y fixer.

Bain à l'acide pyrogallique. — C'est là un révélateur en quelque sorte très élastique, qui permet d'obtenir à volonté un cliché très vigoureux, ou au contraire un cliché très doux et bien fouillé.

Le bain se compose des diverses parties suivantes :

A. —	Acide pyrogallique en poudre	
B. —	Eau	100
	Sulfite de soude anhydre	10
C. —	Eau	100
	Carbonate de soude	60
D. —	Eau	100
	Bromure de potassium	10

Chacune des solutions B, C, D doit être conservée séparément, et chacune d'elles joue un rôle différent :

A, donne l'intensité ;

C, accélère l'action du bain, fait venir les détails, mais peut voiler la plaque ;

D, retarde l'action du bain et permet, dans une certaine mesure, d'éviter le voile.

Le mode opératoire est le suivant :

On verse dans la cuve en porcelaine une quantité de solution B suffisante pour que la plaque puisse être entièrement recouverte, lorsqu'on l'y plongera, et l'on ajoute d'abord une petite quantité d'acide pyrogallique en poudre, qui se dissout presque instantanément, puis quelques gouttes de la solution D.

On plonge alors la plaque, on agite, on chasse, avec le doigt, les bulles d'air ou les grains de poussière qui peuvent exister sur la gélatine, et l'on ajoute peu à peu la solution C jusqu'à ce qu'une trace d'image commence à être visible. La principale habileté, dans cette partie de l'opération, consiste à savoir attendre ; c'est là presque tout le secret d'un bon développement.

Si l'image se montre sans de trop grandes oppositions et sans voile, la pose a été bonne ; il suffit alors de laisser patiemment agir le révélateur.

Quand les grands noirs apparaissent seuls, sans beaucoup de détails dans les blancs, il faut ajouter une nouvelle quantité de la solution C.

Lorsque, enfin, l'image est brusquement révélée dans son entier, c'est une preuve que la pose a été trop longue ; il faut, dans ce cas, tout en agitant le bain, ajouter la solution D goutte à goutte et augmenter la proportion d'acide pyrogallique.

Ces quelques indications suffisent pour montrer qu'un usage judicieux et raisonné des solutions A, C, D, permet de conduire le développement à peu près à volonté et d'obtenir, suivant qu'on le désire, des clichés ou intenses ou faibles.

Fixage. — Quel que soit le mode de développement suivi, cette opération terminée, il faut fixer sur la plaque l'image que l'on vient d'y faire apparaître. On obtient ce résultat en plongeant la plaque développée dans une solution à 15 p. 100 d'hyposulfite de soude, jusqu'à ce que, en examinant par réflexion la face verre, celle-ci n'apparaisse blanchâtre dans aucune de ses régions.

Le bain à l'hyposulfite de soude seul se colore rapidement en brun ; on obvie à cet inconvénient en faisant usage de l'un des bains de fixage suivant :

I. —	Eau	1.000
	Hyposulfite de soude	200
	Bisulfite de soude	50
II. —	Eau	3.000
	Hyposulfite de soude	380
	Bisulfite de soude	95
	Alun de chrome	25
	Acide citrique	12
III. —	Eau	1.000
	Hyposulfite de soude	300
	Bisulfite de soude	30
	Acide citrique	0,5

Lorsqu'on n'a pas à sa disposition du bisulfite de soude, on peut employer le bain suivant :

IV. —	Eau	1.000
	Sulfite de soude	120

Après dissolution, on ajoute :

Acide sulfurique	15 cmc.
Alun de chrome	90 gr.

Puis on verse dans une solution formée de :

Eau	3.000
Hyposulfite de soude	1.000

Lavage. — Une plaque développée et fixée doit être soumise à un assez long lavage si l'on tient à ce qu'elle se conserve sans altération.

Toutes les fois que la chose est possible, le lavage doit être fait à l'eau courante pendant une heure environ. Dans un service radiographique actif, où un assez grand nombre de plaques de toutes dimensions sont impressionnées à chaque séance, le lavage nécessite un outillage, simple sans doute et peu coûteux, mais cependant spécial. Nous avons fait construire, pour le service radiographique de l'hôpital Saint-Éloi, à Montpellier, une cuve en zinc de $30 \times 50 \times 60$, divisée en compartiments, et dans laquelle on peut introduire des paniers-supports divers, de telle sorte qu'elle peut recevoir et que l'on peut y faire laver simultanément jusqu'à 42 plaques (6 plaques de chacune des diverses dimensions 40×50, 30×40, 24×30, 18×24, 13×18 et 12 plaques 9×12). Cette cuve de lavage est fixée au mur; l'eau arrive par la partie supérieure et s'écoule normalement par une ouverture ménagée dans le fond, ou, en obturant celle-ci, par un trop-plein.

Si le lavage ne peut être pratiqué à l'eau courante, il faut en augmenter la durée et renouveler l'eau fréquemment. Il est prudent aussi, dans ce cas, surtout en été, d'ajouter une petite quantité de formol, qui rend la plaque imputrescible et l'empêche d'être altérée pendant le séchage, lorsque celui-ci ne se fait pas rapidement.

Séchage. — La plaque, suffisamment lavée, est sortie de l'eau et mise à sécher sur un égouttoir spécial, à l'abri des poussières qui pourraient venir s'incruster sur la gélatine humide.

Le séchage est toujours long et exige un nombre d'heures d'autant plus grand que la température ambiante est moins élevée et l'état hygrométrique de l'air plus grand.

Lorsqu'il y a intérêt à sécher rapidement la plaque, en vue du tirage d'une épreuve sur papier, on lave pendant cinq à dix minutes seulement, puis on plonge pendant le même temps dans une solution de formol. La plaque peut alors être séchée devant un feu vif sans que la gélatine coure le risque d'être fondue ; il est seulement bon d'enlever d'abord avec un papier buvard les gouttes d'eau à la surface du cliché, afin d'éviter un séchage inégal, qui pourrait altérer l'image.

On peut encore pendant quelques minutes plonger la plaque, sortie de la cuve de lavage, dans l'alcool à brûler, puis la mettre à sécher à l'air libre.

Mais, toutes les fois que le lavage aura eu une durée insuffisante, il sera indispensable, quand on aura satisfait à l'obligation qui a nécessité un séchage rapide, de laver à nouveau pendant le temps normal pour assurer la conservation ultérieure du cliché.

Renforcement et affaiblissement d'un cliché. — Il peut être quelquefois utile de renforcer un cliché ou de l'affaiblir, c'est-à-dire d'en augmenter ou d'en diminuer artificiellement l'impression, après développement et fixage.

Renforcement. — On peut employer le bain suivant, indiqué par Lumière :

Eau	1.000
Sulfite de soude anhydre	10
Iodure mercurique	1

et que l'on prépare en faisant d'abord dissoudre le sulfite dans l'eau, puis ajoutant l'iodure mercurique, dont la dissolution est presque instantanée.

Le cliché, préalablement mouillé, est plongé dans cette solution, et l'on peut suivre par transparence l'augmentation graduelle de l'effet produit. Lorsque cet effet est jugé suffisant, on retire la plaque, on la lave pendant quelques instants dans un courant d'eau, puis on la plonge durant quelques minutes dans un bain quelconque de développement. Cette dernière opération empêche une altération lente de l'image qui pourrait se produire ultérieurement.

On peut encore obtenir le même effet de renforcement avec un bain formé de :

Eau	100
Bichlorure de mercure	5

On plonge dans ce bain, après l'avoir bien lavé, le cliché, que l'on voit blanchir peu à peu ; le renforcement ultérieur sera d'autant plus marqué

que la plaque aura blanchi davantage. Lorsqu'on juge que l'effet du bain a dû être suffisant, on retire le cliché, on le lave à l'eau pure, puis à l'eau salée, et on l'immerge dans un bain constitué par :

Eau	100
Ammoniaque	4

où le cliché noircit brusquement. On termine l'opération par un lavage ordinaire prolongé.

Affaiblissement. — Pour atténuer l'intensité d'impression d'un cliché, on emploie des bains différents, suivant qu'il y a peu ou beaucoup d'opposition entre les noirs et les blancs de ce cliché.

Dans le cas où l'opposition est peu marquée, où l'aspect général est trop uniforme, on fera usage du bain de Farmer, qui se compose des deux solutions suivantes :

Eau	500
Prussiate rouge de potasse	5

Eau	500
Hyposulfite de soude	5

On prépare en solutions séparées et on en opère le mélange seulement au moment de l'utiliser, car il s'altère assez vite. Il faut, au moment où l'on sort la plaque de ce bain, la laver rapidement avant de l'examiner, car il pourrait s'y former des taches. Lorsque l'intensité désirée est obtenue, le cliché est bon à laver comme après le développement et le fixage.

Il importe de ne pas oublier que l'action des agents réducteurs continue encore pendant le lavage, jusqu'à ce que les sels dont la gélatine est imprégnée aient été éliminés; il est donc nécessaire de sortir la plaque du bain avant que le cliché ait été amené au degré d'abaissement désiré.

Lorsqu'un cliché est voilé, l'immersion dans le bain réducteur ci-dessus fait disparaître le voile.

Dans le cas où un cliché présente des oppositions violentes, on peut les atténuer dans des limites assez étendues par l'emploi du persulfate d'ammoniaque. A cet effet, le cliché, préalablement lavé, est plongé, encore mouillé, dans un bain formé de :

Eau.	1.000
Persulfate d'ammoniaque.	4 (dose pour plaque 13 × 18)

Une proportion plus forte de persulfate pourrait attaquer la gélatine.

On plonge la plaque dans ce bain ; on suit, par transparence, la marche de l'affaiblissement, et, au moment où le résultat désiré est atteint, on retire le cliché, que l'on plonge dans une solution constituée par :

Eau	100
Sulfite de soude	10

L'action du bain réducteur primitif est ainsi arrêtée dès l'immersion dans ce second bain. A sa sortie de la solution de sulfite, la plaque doit être mise à laver, puis à sécher.

Examen de la plaque. — Lorsque la plaque sensible a été impressionnée, révélée et fixée suivant les règles et les procédés indiqués dans les paragraphes précédents, il faut procéder à son examen et interpréter le cliché obtenu, ce qui est assez souvent la partie la plus laborieuse et la plus délicate de la tâche du radiographe. Cette question de l'examen et de l'interprétation du cliché radiographique sera traitée à divers points de vue spéciaux dans les chapitres suivants, aussi ne présenterons-nous guère ici que de courtes considérations générales.

Tout d'abord, il est à peine besoin de faire remarquer que, à part les cas dans lesquels une opération urgente doit être faite d'après les indications fournies par la radiographie, il ne faut examiner le cliché que lorsqu'il est sec.

Les salles d'opérations sont, d'autre part, de très mauvais endroits pour pratiquer l'examen du cliché, à cause de la grande quantité de lumière dont on y a judicieusement ménagé l'entrée. Sans doute, quand un cliché est excellent, c'est-à-dire quand l'impression de la plaque a été intense sans exagération, quand le tube utilisé a donné un faisceau assez puissant de rayons relativement peu pénétrants, qui auront fourni une opposition marquée, quand l'épaisseur de la région des corps radiographiés a été à peu près uniforme et que, par suite, le cliché ne présente pas des différences d'impression trop considérables, lorsque, enfin, les indications à retirer de la radiographie seront bien apparentes, ce qui est le cas d'une fracture avec déplacement, d'une luxation complète, etc., l'examen du cliché peut sans inconvénient être fait en plein jour ; il est seulement bon de l'examiner par sa face gélatine, afin d'éviter la formation d'images par réflexion des objets éclairés situés en arrière de l'observateur.

Mais il est relativement rare que ces diverses conditions se trouvent simultanément réunies, et l'examen utile du cliché doit alors être fait dans des conditions spéciales, dont la réalisation matérielle est d'ailleurs facile.

Le mieux est d'utiliser la lumière diffuse du jour, celle qui entre par la fenêtre de la pièce dans laquelle l'examen doit être pratiqué. Afin de se débarrasser d'ailleurs, le cas échéant, de la vision, à travers les parties les plus transparentes du cliché, des objets extérieurs, il peut être bon de doubler d'abord la vitre d'une feuille de papier translucide. Pour les clichés faibles, l'atténuation de la lumière permettra, en outre, d'apercevoir des détails qui seraient invisibles avec un éclairage trop intense.

Dans notre service radiographique de l'hôpital des cliniques, à Montpellier, nous avons fixé sur les montants en bois de la fenêtre de la salle d'examen, qui n'est autre d'ailleurs que la salle de pose, des couples de baguettes en bois horizontales, dont les écartements correspondent aux diverses dimensions des clichés, depuis 9×12 jusqu'à 40×50 et destinées à recevoir les plaques à examiner.

Il est indispensable que chacun des écartements de couples de baguettes ait, dans le sens horizontal, des dimensions suffisantes pour permettre la juxtaposition de deux clichés au moins de même dimension ; les deux épreuves d'une même fracture radiographiée dans deux plans perpendiculaires, celles qui ont été prises avant et après réduction d'une fracture ou d'une luxation, peuvent ainsi être examinées par comparaison. D'autre part, il est souvent nécessaire, et ce sera en particulier le cas où l'on recherchera une altération unilatérale du tissu osseux, une subluxation, etc., de comparer le cliché de la région explorée, soit avec le cliché de la région symétrique et saine du même sujet, soit avec la région correspondante d'une personne normale.

Dans ces conditions d'examen, aussi bonnes que faciles à réaliser, il sera encore facile de juger exactement de la netteté ou du flou général de l'épreuve en rapport avec l'immobilité plus ou moins complète du sujet, et de la nécessité de prendre une nouvelle épreuve, si l'immobilité n'a pas été suffisante et si la révélation d'une anomalie minime peut être masquée par le seul défaut de netteté du cliché.

Lors de l'examen de certains clichés obtenus à travers un pansement, il importe de ne pas oublier que les antiseptiques présentent des degrés de transparence variable, que quelques-uns possèdent une opacité assez grande aux rayons X, que leur ombre s'aperçoit nettement sur le cliché, et que, suivant sa position, cette ombre peut en imposer, dans quelque cas, pour des productions osseuses nouvelles. Mais il sera toujours facile de ne pas commettre cette erreur grossière, si l'on a eu soin de se renseigner sur la constitution du pansement et si l'on tient compte, d'autre part, des indications du tableau suivant, dressé par Lucas et Thirion, qui fait connaître la transparence relative des divers antiseptiques.

Noms des antiseptiques.	Degré de transparence.
Iodoforme	opaques.
Sublimé corrosif	
Dermatol	
Permanganate de potassium	
Phénol	assez transparent.
Tannin	transparents.
Acide borique	
Naphtaline	
Naphtol	
Thymol	
Salol	

Une autre remarque doit être faite relativement à l'examen de la plaque.

Si l'on regarde un cliché par sa face gélatine, les diverses parties se présentent à l'observateur comme s'il était en face de la région radiographiée, ainsi que l'était l'ampoule à rayons X. Par suite, si le cliché montre, par exemple, la radiographie du thorax ou du bassin d'un sujet que l'on aura fait coucher le dos contre la plaque, les parties droite et gauche du sujet

avec lequel le cliché a été préparé se trouvent respectivement à la gauche et à la droite de l'observateur.

Lorsqu'on examine, au contraire, ce même cliché par la face verre, les diverses parties apparaissent avec les positions qu'elles auraient si, pendant la pose, on était placé au delà de la plaque et, par conséquent, en arrière du sujet. Dès lors, dans ce cas, les parties du cliché qui sont à la droite et à la gauche de l'observateur correspondent à la droite et à la gauche du sujet.

D'autre part, on peut avoir intérêt à faire coucher le sujet sur le ventre, lors de la radiographie du bassin ou du thorax, et, dans ce cas, les parties droite et gauche du sujet occupent sur le cliché, et par rapport à l'observateur qui en fait l'examen, des situations inverses de celles que nous venons d'indiquer ; lorsque le cliché est vu par sa face gélatine, l'observateur a respectivement à sa droite et à sa gauche les parties droite et gauche du sujet, tandis qu'il a à sa droite la radiographie du côté gauche du sujet, et réciproquement, s'il examine ce même cliché par la face verre.

Il est à peine besoin de faire remarquer, en outre, que les situations, par rapport à l'observateur, des parties gauche et droite du sujet seraient inverses de celles que nous venons d'indiquer, si le cliché supposé vertical était retourné de haut en bas, de manière que l'observateur continue à avoir en face la même face verre ou gélatine. Sans doute, il ne viendra à l'idée de personne d'examiner un cliché de bassin en dirigeant en haut les fémurs. Mais la remarque actuelle a sa raison d'être lorsqu'il s'agit de certaines parties du corps. Il est facile de s'assurer, par exemple, que, pour l'examen d'un cliché de pied, et surtout de main, certaines personnes tournent instinctivement le cliché les doigts en haut, tandis que d'autres, instinctivement encore, tiennent le cliché les doigts en bas. Dans ce cas, par conséquent, pour interpréter judicieusement le cliché, il faudra tenir compte non seulement de la face, verre ou gélatine, par laquelle on examine le cliché, de la face, palmaire ou dorsale, de la main qui a été directement en contact avec la plaque, mais encore du sens que l'on donne au cliché pendant l'examen. Ces dernières considérations paraissent d'abord superflues, si l'on songe que l'inégalité de longueur et de grosseur des doigts permet toujours de reconnaître à première vue, sur un cliché de main complète, les côtés interne et externe ; mais elles deviennent utiles lorsque les deux mains ou les deux pieds d'un même malade ont été radiographiés côte à côte, lorsque, pour quelque raison spéciale, on radiographie un doigt seulement, ou que, sur un cliché d'os long et unique, fémur ou humérus par exemple, les dimensions restreintes de la plaque n'ont permis la reproduction que de la partie moyenne de l'os.

Ajoutons que, de ce qui précède, résulte la nécessité absolue de noter la face du corps ou du membre qui, pendant la pose, aura été directement en contact avec la plaque.

Un dernier point doit être encore examiné ici.

Les contours de l'ombre radiographique d'un objet sont d'autant plus

nets ou plus flous que cet objet a été, pendant la pose, plus près ou plus loin de la plaque. Par suite, si l'on examine un cliché par sa face gélatine, les parties les plus floues proviennent d'objets que l'observateur doit localiser plus près de lui, tandis que, lorsque le même cliché est vu par sa face verre, les ombres à bords moins nets sont celles d'objets que l'observateur doit regarder comme plus éloignés.

A ce point de vue particulier du relief, par quelle face vaut-il mieux examiner un cliché ? Il nous semble prudent de ne pas poser à ce sujet de règle fixe et générale. Dans l'enquête restreinte à laquelle nous nous sommes livré sur cette question, en effet, les avis recueillis ont été dissemblables, et les réponses contradictoires nous paraissent d'ailleurs facilement explicables. Si un observateur juge du relief d'un cliché radiographique comme il jugerait de celui d'un tableau, il aimera mieux pratiquer l'examen par la face verre, car il rapportera ainsi, conformément à la réalité, les ombres à bords flous à des objets plus éloignés. Mais l'on conçoit, d'autre part, qu'une longue pratique de la radiographie permette de rapporter, inconsciemment en quelque sorte, à des objets situés plus en avant de la plaque examinée par sa face gélatine, les ombres à bords flous. La préférence pour l'un ou l'autre mode d'examen tiendrait ainsi à la base différente sur laquelle on peut appuyer l'appréciation en quelque sorte inconsciente du relief, et il n'y a là en somme que l'influence d'une équation personnelle qu'on ne doit pas même essayer de réglementer.

§ 4. — Epreuve sur papier d'après le cliché primitif.

Impression du papier sensible. — Il serait peu rationnel, en même temps que préjudiciable à l'interprétation exacte d'un cliché et de son épreuve correspondante sur papier, de qualifier respectivement ce cliché et cette épreuve de négatif et de positif, si l'on devait, par l'emploi de ces mots empruntés au langage photographique, conclure à des analogies de situation, par rapport à l'observateur, des côtés droit et gauche de la personne sur les clichés radiographiques et photographiques.

Sur un cliché photographique regardé par sa face gélatine, en effet, la droite et la gauche de la personne photographiée sont respectivement à la droite et à la gauche de l'observateur, tandis que, comme nous venons de le faire remarquer plus haut, c'est l'inverse que l'on observe dans un cliché radiographique examiné de même par sa face gélatine.

Une épreuve secondaire sur papier présentera de même des situations inverses, suivant qu'il s'agit de la reproduction d'un cliché photographique ou radiographique, puisque, dans l'un et l'autre cas, les conditions de préparation de l'une et l'autre épreuve sont les mêmes, ainsi que nous le dirons bientôt. Une inversion s'est toutefois produite dans le passage du cliché primitif à l'une ou l'autre de ces épreuves secondaires, si bien que, sur l'épreuve photographique sur papier, les parties droite et gauche de la per-

sonne photographiée sont maintenant respectivement à la gauche et à la droite de l'observateur, tandis que, sur l'épreuve radiographique correspondante, les parties droite et gauche du malade radiographié sont alors respectivement à la droite et à la gauche de l'observateur.

C'est là une remarque qu'il ne faut pas perdre de vue pour la juste interprétation des épreuves radiographiques sur papier préparées d'après le cliché primitif.

Ajoutons que le cliché photographique a été qualifié de négatif parce que les parties plus ou moins éclairées de l'objet y apparaissent avec des teintes plus ou moins sombres. Sur un cliché radiographique, les parties plus ou moins sombres sont en rapport avec une transparence plus ou moins grande des objets traversés par les rayons X, et ces objets n'éveillent par eux-mêmes en nous aucune sensation de lumière. Cette transparence, relative elle-même, n'a aucun rapport avec la transparence des corps pour la lumière ; dès lors le terme de négatif ne peut être appliqué, avec son sens photographique, aux clichés radiographiques, qu'en considérant, dans le cas des rayons X, les effets secondaires, visibles à nos yeux, que ces rayons exercent sur certains corps, tels que le platino-cyanure de baryum.

Mais, les réserves précédentes expressément faites, il n'y a plus de raison pour ne pas qualifier de négatif et de positif le cliché radiographique primitif, et l'épreuve sur papier que l'on peut en tirer. Ces termes sont commodes pour le langage, et leur usage ne peut entraîner aucun inconvénient dans l'interprétation des épreuves radiographiques sur verre et sur papier, si l'on a présentes à l'esprit les particularités que nous avons signalées plus haut.

Une autre question, soulevée par quelques-uns, est celle de savoir quelle est, des épreuves négative ou positive sur verre ou sur papier, celle qui correspond le plus exactement à la réalité. Si l'on entend par réalité la transparence plus ou moins grande aux rayons X, c'est à l'épreuve sur papier qu'il faut accorder la préférence, puisque les ombres y sont, comme on va le voir, d'autant plus intenses qu'elles correspondent à des parties plus opaques aux rayons X. Mais il nous semble que la question n'a pas d'importance pratique ; avec quelque habitude de l'examen des clichés radiographiques et des épreuves sur papier, en effet, on n'a plus aucune hésitation pour rapporter à une solution de continuité osseuse la ligne plus sombre ou plus claire qui sépare les deux fragments d'un os fracturé sur le cliché primitif ou sur l'épreuve positive correspondante. Aussi une épreuve positive serait-elle bien rarement préparée, en admettant qu'on pût éprouver quelquefois le besoin de se rapprocher davantage de la réalité des transparences relatives, si ces épreuves ne devaient exclusivement être livrées à qui de droit, afin de ne pas exposer les clichés aux dangers que leur fragilité leur fait courir.

Il importe d'ajouter dès maintenant que jamais une épreuve sur papier ne reproduit toute la finesse d'un cliché. Celui-ci présente souvent des parties où la différence d'impression est énorme, en raison des différences d'épaisseur des parties du corps auxquelles elles correspondent ; ce sera en

particulier le cas, lorsqu'on aura radiographié un pied qui reposait sur la plaque par sa face plantaire. Or, même sur de semblables clichés, il est souvent possible de percevoir des détails forts délicats dans les régions peu impressionnées, de même que l'œil distingue encore un certain modelé dans les régions les plus sombres. Sans doute, on peut, avec de tels clichés, égaliser, dans une certaine mesure, la teinte générale de l'épreuve sur papier, grâce aux précautions que nous indiquerons plus loin ; mais jamais, quoi qu'on fasse, cette épreuve positive ne vaudra le cliché primitif.

Voici, quoi qu'il en soit, le mode opératoire de la préparation des épreuves positives sur papier qui, d'ailleurs, est le même que pour la reproduction des clichés photographiques.

On pose le cliché par sa face verre sur la glace épaisse d'un châssis-presse, on applique la face sensible du papier sur la face gélatine du cliché, on ajoute par-dessus plusieurs feuilles de papier ordinaire, et l'on ferme le châssis de manière à réaliser une application parfaite et fixe du papier sensible sur le cliché. On expose alors le châssis retourné dans un endroit où la lumière diffuse doit être d'autant plus intense que le cliché a été plus impressionné.

La lumière traverse le cliché en proportion d'autant plus grande, et impressionne d'autant plus fortement le papier, que la région traversée de la plaque est moins noire. On suit les progrès de l'impression en ouvrant, dans un endroit peu éclairé, un côté seulement du châssis, afin de ne pas modifier les rapports de la plaque et du papier, et l'on arrête la pose lorsque l'image se montre assez foncée.

L'intensité de l'image diminue toujours lorsqu'on soumet l'épreuve sur papier à l'action des bains de virage et de fixage dont il sera parlé plus bas ; il est donc nécessaire de retirer du châssis le papier sensible seulement lorsque l'impression est plus intense que celle que l'on veut obtenir. A ce point de vue, les divers papiers du commerce se comportent de façons un peu différentes ; mais on acquiert bien vite l'expérience nécessaire pour arrêter la pose au moment opportun.

Afin d'atténuer sur l'épreuve positive les contrastes marqués que présentent presque toujours les clichés radiographiques, il faut user d'artifices. Les régions les plus claires du cliché, celles par conséquent qui livreraient un trop facile passage à la lumière, seront protégées au moyen d'écrans en carton, découpés au besoin selon la forme de la région à protéger et maintenus à une certaine distance du châssis, afin que l'ombre de leurs bords ne soit pas reproduite sur l'épreuve positive. D'autre part, l'impression sur cette épreuve des détails situés dans les parties les plus opaques du cliché sera plus sûrement réalisée en concentrant, sur ces parties, la lumière solaire directe au moyen d'une lentille, que l'on déplacera constamment, afin de ne pas former une tache sombre sur l'épreuve positive et de ne pas brûler le papier.

On n'aurait pas besoin de recourir à ces manœuvres, qui, non seulement sont minutieuses, mais encore exigent un temps considérable, si l'on s'astreignait, pendant la pose même du cliché, à recouvrir temporairement avec

un écran opaque aux rayons X, et que l'on déplacerait constamment, les parties les moins épaisses de la région radiographiée ; on égalise ainsi l'impression générale du cliché, et le tirage de l'épreuve positive n'exige plus dès lors les manœuvres que nous avons décrites.

Virage et fixage. — Pendant l'exposition dans le châssis, le sel d'argent, par lequel le papier a été rendu sensible, est réduit par la lumière ; mais il faut encore fixer l'image, c'est-à-dire enlever la partie du sel non décomposée, opération qui porte le nom de *fixage*. Si, d'ailleurs, l'on fixait directement l'image à la sortie du châssis, on n'obtiendrait qu'une teinte désagréable à l'œil, tandis qu'on réalise des tons plus chauds par l'opération préliminaire du virage. Celle-ci consiste en l'immersion du papier impressionné dans un bain de chlorure d'or ou de chloroplatinite de potassium, au cours de laquelle l'or ou le platine se substituent à l'argent réduit ; l'épreuve, après fixage, présente alors des teintes plus flatteuses et possède une inaltérabilité assez grande.

Les opérations du virage et du fixage peuvent se faire simultanément ou isolément.

Virage et fixage combinés. — La manipulation est plus simple, puisqu'elle n'exige qu'une immersion.

Le bain suivant a été indiqué par Lumière :

Solution A	Eau bouillante	1.000	grammes.
	Hyposulfite de soude . . .	250	—
	Alun ordinaire	16	—
	Acétate de plomb	2	—
Solution B	Eau distillée.	100	grammes.
	Chlorure d'or	1	—

Le bain combiné s'obtient en ajoutant 6 centimètres cubes de la solution A à 100 centimètres cubes de la solution B ; ce mélange doit être fait vingt-quatre heures à l'avance, et les épreuves doivent y être immergées seulement après un lavage de quelques minutes à l'eau ordinaire.

Mercier conseille la formule suivante :

Hyposulfite de soude	150	grammes.
Chlorure de sodium.	50	—
— d'or brun	1	—
Acétate de soude	15	—
Talc	15	—
Azotate de plomb.	15	—
Eau distillée	1.000	—

Chaque fabricant préconise, d'ailleurs, une formule spéciale qui s'adapte mieux au papier sensible qu'il livre.

Quel que soit le bain employé, l'épreuve vire au jaune rougeâtre aussitôt après son immersion ; mais cette teinte se modifie peu à peu et, lorsque le ton désiré est obtenu, on retire l'épreuve, que l'on plonge ensuite dans une cuve de lavage, où elle doit demeurer pendant deux ou trois heures. L'épreuve

est alors suspendue jusqu'à ce qu'elle soit sèche; comme, pendant ce temps, l'image remonte légèrement, il est bon de retirer l'épreuve du bain de virage et fixage un peu avant qu'elle n'ait atteint l'intensité désirée.

La simplicité de l'opération, résultant de l'emploi du bain unique qui réalise simultanément le virage et le fixage, n'est en réalité obtenue qu'au détriment de l'inaltérabilité de l'épreuve. Quand le bain est neuf et que le lavage consécutif a été abondant, on peut sans doute espérer conserver longtemps les épreuves sans altération sensible ; mais si le bain a déjà servi, les épreuves, malgré un copieux lavage, s'altèrent après quelques mois et se détériorent complètement.

Virage et fixage séparés. — C'est sans doute une complication de n'effectuer ces opérations que successivement, mais on assure, d'autre part, ainsi la conservation des épreuves.

La formule suivante de bain de virage convient assez bien à la généralité des papiers :

Eau distillée	1.000	grammes.
Chlorure d'or	1	—
Craie en poudre	5 à 10	—

On dissout le chlorure d'or dans l'eau, on ajoute la craie, puis on agite à plusieurs reprises et on laisse reposer pendant vingt-quatre heures. On décante alors et l'on filtre.

Le bain proprement dit s'obtient en ajoutant 15 centimètres cubes de la solution précédente à 100 centimètres cubes d'eau distillée.

Les épreuves doivent être d'abord alunées par immersion dans une solution d'alun ordinaire à 1 p. 100, puis lavées à plusieurs eaux; le bain d'alun et les eaux de lavage doivent être abondants.

Lorsque, après cette opération préliminaire, les épreuves sont plongées dans le bain de virage, où elles doivent d'ailleurs être constamment agitées, elles passent successivement par les teintes : rouge, marron, bistre, pourpre, violette et noire. Mais le ton final dépend également de l'influence du bain de fixage, si bien qu'il faut une assez grande habileté pour obtenir finalement une teinte déterminée.

Les épreuves, sorties du bain de virage au moment opportun, sont mises à laver dans l'eau ordinaire pendant quelques minutes, puis plongées dans l'un des bains de fixage suivants indiqués, par Lumière :

I. — Eau	1.000	grammes.
Hyposulfite de soude	150	—
II. — Eau	1.000	grammes.
Hyposulfite de soude	150	—
Bisulfite de soude.	6	—
Alun ordinaire.	4	—
Solution de nitrate de plomb à 1 p. 100.	15	centimètres cubes.

Il importe d'agiter constamment le bain pendant l'immersion des épreuves

qui sont fixées après 15 minutes. La fin de l'opération est indiquée par ce fait que les épreuves regardées par transparence ne montrent plus l'aspect poivré qu'elles présentaient au début.

Des soins méticuleux et une parfaite propreté doivent être apportés à ces diverses opérations.

On ne doit pas toucher le papier non impressionné avec les doigts mouillés ou simplement en sueur, sinon des tâches apparaîtront, après virage et fixage, dans chacune des régions de contact.

Lorsqu'on opère sur plusieurs épreuves à la fois, il faut les manier séparément et non par paquets, car elles pourraient se coller les unes aux autres.

Les doigts qui auront été en contact avec le bain de fixage ne doivent pas être plongés dans le bain de virage, sinon des taches apparaîtraient sur les épreuves.

On trouvera, d'ailleurs, dans les traités spéciaux de photographie, des instructions plus détaillées, des formules diverses de bains, dont on pourra faire profit, car cette préparation des épreuves positives de radiographie se fait avec les mêmes papiers et suivant les mêmes règles que celles des épreuves positives photographiques.

Lavage et séchage. — Les épreuves fixées sont mises à laver autant que possible à l'eau courante, pendant un temps qui ne doit pas excéder trois heures. Il est bon de faire usage d'une cuve dont le fond est percé d'une ouverture d'écoulement et qui est munie, à mi-hauteur, d'une toile métallique sur laquelle reposent les épreuves ; l'hyposulfite est ainsi entraîné sans qu'il puisse s'accumuler au fond de la cuve.

Épreuves sur papier au gélatino-bromure d'argent. — Divers fabricants livrent un papier au gélatino-bromure d'argent, mat ou brillant, dont la sensibilité, sans être aussi grande que celle des plaques, est cependant telle que l'on peut obtenir une épreuve positive par une pose de quelques minutes en face d'un bec de gaz, dit papillon, situé à o m. 50.

Ce papier peut être employé aux lieu et place du papier ordinaire, dont il a été question ci-dessus. Mais on peut également le faire impressionner directement par les rayons X pendant l'impression même de la plaque, ce qui peut être utile.

Dans bien des cas, en effet, il peut être bon de fournir au chirurgien, dont un malade aura été radiographié, non seulement les renseignements écrits qui résultent de l'examen du cliché, mais encore une épreuve radiographique. Les clichés courent trop de risques pendant un transport, leur conservation est trop désirable, soit en vue des comparaisons ultérieures avec d'autres épreuves du même malade ou de malades différents, soit à l'effet de recherches scientifiques, pour que, dans un service radiographique bien organisé, on n'établisse pas comme règle presque absolue que les clichés ne doivent pas sortir. Il est dès lors avantageux de disposer, sous chaque plaque utilisée, une feuille de même dimension de papier au gélatino-bro-

mure qui sera impressionné pendant la pose même, qui sera développé en même temps que la plaque et que l'on fera parvenir immédiatement au chirurgien intéressé.

A côté des avantages que présente une telle organisation, un seul inconvénient est à signaler, celui d'un surcroît de dépense, qui est cependant bien minime lorsqu'une épreuve positive doit être plus tard préparée, car, d'une part, le papier au gélatino-bromure n'est pas sensiblement plus cher que le papier ordinaire et, d'autre part, le bain de développement du premier est d'un prix de revient moins élevé que le bain de virage du second.

Il importe, toutefois, d'ajouter que l'épreuve sur papier au gélatino-bromure est toujours inférieure au cliché radiographique lui-même. C'est que, tout d'abord et d'une manière générale, une épreuve sur papier n'a jamais la finesse d'une épreuve sur verre et que, ensuite, le papier, déjà moins sensible que la plaque, n'est impressionné que par le faisceau moins intense de rayons X qui a déjà été absorbé en partie au niveau de la couche de gélatine et du verre du cliché. On conçoit dès lors que, dans les parties qui correspondent aux régions les plus opaques du malade, des détails puissent encore s'imprimer sur la plaque, tandis qu'on n'en trouvera plus trace sur le papier.

Mais, ces diverses réserves faites, l'usage de papier au gélatino-bromure disposé sous chaque plaque utilisée nous paraît parfaitement recommandable et nous en faisons usage, le cas échéant, dans le service radiographique de l'hôpital des cliniques de Montpellier.

En raison de sa sensibilité, le papier au gélatino-bromure ne doit être manié, comme les plaques, que dans le cabinet noir.

Pour la préparation d'une épreuve positive d'après cliché, on opère, comme pour le papier ordinaire, en appliquant la face sensibilisée du papier au gélatino-bromure contre la face gélatine du cliché introduit dans un châssis que l'on ferme ensuite. Ce papier étant également blanc sur ses deux faces, on reconnaît la face sensibilisée, soit à son brillant, soit, si le papier est mat, à ce fait que la feuille a une tendance à s'enrouler du côté de la face sensible.

On trouve dans le commerce, en dehors de l'aspect mat ou brillant, deux espèces de papiers au bromure : l'un est fabriqué avec une émulsion lente, c'est-à-dire moins sensible; l'autre est recouvert d'une émulsion rapide, c'est-à-dire ayant une sensibilité plus grande. D'une manière générale, le premier convient mieux pour les agrandissements, le second pour les épreuves par contact. Cependant cette règle n'est pas absolue et, qu'il s'agisse d'une épreuve par contact ou d'un agrandissement, l'usage d'un papier lent est préférable si le cliché est faible ; celui d'un papier rapide, plus avantageux quand le cliché est dur et que les contrastes y sont marqués.

Le châssis avec plaque et papier étant préparé, on procède à l'impression après avoir déterminé la distance à laquelle le châssis devra être placé en avant du bec papillon et la durée de la pose.

Lumière conseille d'adopter comme distance :

Pour un cliché de	très faible intensité.	2 mètres.
—	moyen	1 —
—	très intense.	0 m. 50.

Avec un cliché faible, en effet, un faisceau lumineux, intense comme l'est celui d'un bec papillon à 0 m. 50, impressionnerait le papier au bromure d'une façon à peu près uniforme ; pour accentuer les différences d'impression d'où résultera l'image, il faut alors diminuer l'intensité du faisceau au niveau du châssis, ce que l'on peut obtenir, soit en fermant partiellement le robinet d'accès du gaz et conservant une distance invariable, 0 m. 50 par exemple, soit en éloignant le châssis sans toucher au robinet du gaz. C'est ce second moyen qu'il est préférable d'employer.

Quant à la durée de pose, le mieux est de découper, dans la feuille de papier au bromure dont on se servira, des morceaux que l'on placera successivement, dans le châssis, sous une région, toujours la même, du cliché, que l'on impressionnera et que l'on développera successivement de manière à déterminer par tâtonnement la durée de pose nécessaire pour la région choisie. On expose alors la feuille entière pendant le temps ainsi fixé par ces épreuves successives, sauf à protéger au besoin les parties les plus transparentes du cliché au moyen d'écrans que l'on agite constamment.

Il importe, dans l'impression du papier au bromure, de ne pas exagérer la pose, car l'épreuve serait verdâtre, au lieu de présenter les beaux tons noirs que l'on doit rechercher.

Le développement et le fixage de ce papier au bromure se font comme ceux des plaques et dans les mêmes bains. Il est nécessaire de graduer l'énergie du révélateur d'après la durée de pose, et il est prudent, à cet effet, de commencer par un bain dédoublé avec une quantité d'eau suffisante.

Il n'y a pas, comme pour la plaque, de moyen pratique pour reconnaître le moment où le fixage est terminé ; il faut laisser le papier immergé pendant 5 à 10 minutes.

§ 5. — Réduction des clichés primitifs.

Utilité et mode opératoire. — Cette réduction est utile, soit que l'on veuille obtenir des clichés pour projection, soit que l'on désire seulement réduire le cliché primitif à des dimensions moindres en vue d'une reproduction.

Pour pouvoir être faite commodément dans de bonnes conditions, cette opération exige l'emploi d'une chambre à trois corps. Le cliché est fixé au corps d'avant et éclairé par transparence ; le corps d'arrière reçoit la plaque sensible, et l'objectif destiné à faire former sur la plaque une image du cliché est reçu dans une ouverture pratiquée dans le corps du milieu.

Pour obtenir de bons clichés à projection, il est nécessaire que le cliché

primitif présente des ombres encore transparentes et des blancs très purs. Si donc ce cliché primitif présente quelque trace de voile, il sera bon de le plonger dans un bain d'affaiblissement pour faire disparaître ce défaut.

Lorsque le cliché à réduire ne possède pas les qualités requises, il sera bon d'en tirer d'abord une bonne épreuve sur papier soit ordinaire, soit au bromure, ce qui rend plus facile la protection de certaine région par un écran, afin de diminuer, le cas échéant, les contrastes. On photographie ensuite cette épreuve positive, et c'est ce cliché photographique que l'on réduit alors.

La couche de gélatine des clichés à projection étant exposée à être rayée, en raison même des maniements qu'une projection comporte, il est prudent de la recouvrir d'une lame de verre protectrice de même dimension, qui est réunie au cliché lui-même au moyen de bandes de papier gommé que l'on trouve dans le commerce ; la couche de gélatine est, en outre, grâce à ce procédé, mise à l'abri des poussières qui pourraient la souiller. Afin d'empêcher d'ailleurs le contact entre la gélatine et la lame de verre protectrice, on interpose entre les deux, et avant le collage, des bandes de papier gommé sur les bords, ou des caches qui permettent, en outre, de limiter l'image à projeter.

Docteur A. Imbert,
Professeur de physique biologique à la Faculté de médecine de Montpellier.

Docteur Gagnière,
Directeur des travaux de physique biologique à la Faculté de médecine de Montpellier.

II. — TECHNIQUE GÉNÉRALE DES OPÉRATIONS RADIOLOGIQUES, MÉTHODES RADIOSCOPIQUES, RADIOGRAPHIQUES, STÉRÉOSCOPIQUES ET ENDODIASCOPIQUES.

CHAPITRE PREMIER

TECHNIQUE OPÉRATOIRE DE LA RADIOSCOPIE ET DE LA RADIOGRAPHIE MÉDICALES ORDINAIRES

Nous allons voir dans ce chapitre les dispositifs utiles à l'application des rayons X et les méthodes suivant lesquelles doivent être pratiqués nos examens.

Dans une première section, nous étudierons l'instrumentation accessoire, je veux dire les supports de tubes, d'écrans, les lits d'examens et, en général, tout dispositif permettant au médecin l'emploi facile des tubes fluorescents pour la radioscopie ou la radiographie.

Dans une seconde section, nous parlerons des méthodes d'examen, en laissant toutefois de côté les méthodes stéréoscopiques et endodiascopiques, qui seront complètement traitées ailleurs.

Enfin, nous consacrerons une troisième section, très courte, à l'étude des examens radiologiques des organes animés de mouvements rythmiques.

PREMIÈRE SECTION. — INSTRUMENTATION NÉCESSAIRE A L'APPLICATION DES RAYONS X A LA MÉDECINE

§ 1. — **Généralités.**

Dans la pratique médicale, nous examinons nos sujets soit dans la station verticale, soit dans le décubitus.

L'examen en station debout convient surtout à la radioscopie. Il a l'avantage d'être plus rapide. L'outillage en est plus simple. Par contre, la posi-

tion du malade est moins assurée. C'est le procédé utile avant tout au clinicien qui ne peut faire les opérations radiographiques.

L'examen dans le décubitus convient surtout à la radiographie. Il est

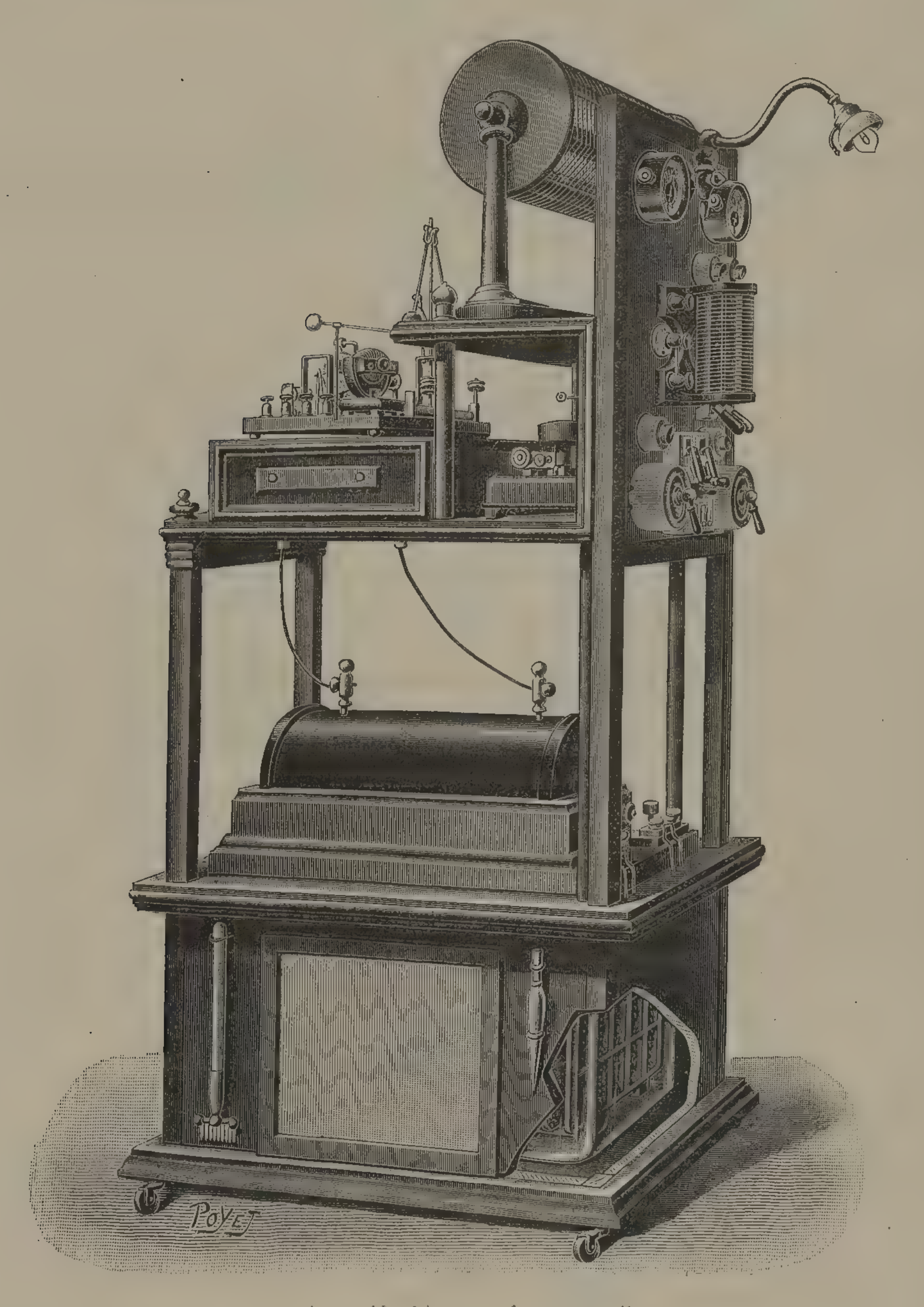


Fig. 240. — Meuble pour les appareils.

En bas, réducteur de potentiel ou accumulateurs ; au premier étage, bobine libre sur ses quatre faces ; au deuxième étage, trembleur et condensateurs de haute fréquence. (Radiguet et Massiot).

moins rapide. Il nécessite un outillage plus compliqué. Par contre, la position du malade est bien assurée et se prête aux opérations de précision ; c'est le procédé utile surtout au radiographe spécialiste.

La station debout et le décubitus seront chacun l'objet d'une partie spéciale de cette section.

Avant d'aborder l'une et l'autre de ces parties, je dois dire un mot de l'installation du laboratoire, quand on veut, sans manipulation ennuyeuse, faire alternativement l'examen vertical ou horizontal et, de plus, employer la bobine, comme le font la plupart des praticiens, à la production des courants de haute fréquence. Pour opérer vite et bien, il y a intérêt à avoir la bobine libre sur toutes ses faces. D'un côté seront disposés les appareils utiles à l'examen horizontal ; de l'autre, le châssis vertical ou les supports divers. En outre, la bobine se trouvera isolée ainsi de toute paroi murale, et les fils iront directement des pôles de l'induit à l'emploi.

Nos grands fabricants ne font ordinairement les meubles que sur commande. Certaines maisons de Berlin ont des meubles assez ingénieux. Les uns, en forme d'armoire, ont l'avantage de tenir peu de place, d'autres permettent le transport facile de tout l'appareil dans les salles d'hôpitaux (Hirschmann, Reiniger, Gibbert et Schall).

Chacun, selon ses besoins, peut, d'ailleurs, imaginer tel dispositif qui conviendra mieux aux applications qu'il en veut faire.

J'ai fait construire à cet effet un meuble (fig. 240), dont le grand avantage est de laisser la bobine libre de tous côtés en occupant le minimum de surface. Ce meuble a 1 mètre de long, 0^{m},60 de large et 2 mètres de haut environ. Au bas sont les accumulateurs (ou réducteur de potentiel pour les circuits de ville) ; au premier étage, la bobine (horizontale) ; au deuxième étage, le trembleur d'une part, et les condensateurs de haute fréquence de l'autre. Ce meuble est complètement à jour, sauf la case du bas, de sorte qu'on peut employer indifféremment l'induit sur une face, sur l'autre, ou au-dessus. A un bout se trouve le tableau distributeur ; à l'autre, l'emploi de la haute fréquence. Il est monté sur des galets de gros diamètre, qui permettent de le déplacer facilement malgré son poids. Les fils circulent dans des cylindres de verre, ou dans les montants. On évite ainsi toute déperdition et tous contacts inopportuns.

En France, on emploie beaucoup, depuis quelque temps, la bobine verticale. Elle tient moins de place, mais on risque plus de voir des étincelles éclater entre les deux conducteurs de l'induit dans les déplacements du tube. Pour les emplois multiples que nous faisons de nos bobines, la bobine horizontale, placée sur un meuble convenable, paraît plus pratique, et son usage est, d'ailleurs, plus généralement adopté.

§ 2. — Examen du sujet en station verticale. Radioscopie courante.

Nous avons à étudier sous ce titre les écrans protecteurs, les supports d'ampoule et les supports d'écran.

A. — Écrans protecteurs

En raison des divergences de vue sur la nature des accidents consécutifs à l'exposition prolongée du corps aux rayons X, accidents qui sont étudiés à la dernière partie de cet ouvrage, beaucoup d'expérimentateurs interposent un écran d'aluminium relié au sol entre le tube de Crookes et le sujet.

Une disposition adoptée dans plusieurs laboratoires consiste à placer le tube de Crookes dans une pièce contiguë à la salle d'examens, et à mettre un panneau d'aluminium de $0^{mm},2$ à $0^{mm},3$ d'épaisseur entre les deux pièces dans toute l'étendue du champ d'examen ($1^{m},80$ sur $0^{m},60$ environ). Le seul inconvénient est que ce panneau est ou trop fragile ou trop opaque aux rayons X.

Lorsqu'on emploie le châssis à ampoule mobile que je décrirai plus loin, rien n'est plus simple que de placer devant l'ampoule une plaque d'aluminium de $0^{m},20 \times 0^{m},20$ qui couvre exactement la surface du petit cadre. On peut aussi entourer simplement l'ampoule d'une lame d'aluminium dentelée à la limite de la zone fluorescente (pareffluve de Radiguet).

La maison Hirschmann, de Berlin, s'occupant plus spécialement d'éviter les étincelles qui jaillissent de la cathode et peuvent atteindre désagréablement le malade, a construit un écran protecteur en caoutchouc. Cet écran glisse dans un châssis vertical. Son jeu est facilité par un contrepoids.

B. — Supports d'ampoule

Supports ordinaires. — Le support le plus simple pour les ampoules dont nous nous servons couramment consiste en un pied de fonte muni d'une tige verticale en bois (Radiguet, etc.), ou en métal (Reiniger, Gibbert et Schall, etc.), le long de laquelle glisse la pince porte ampoule. Gaiffe construit cette tige en aluminium, ce qui rend le support à la fois léger et solide. La pince est en bois. Elle est articulée de manière à permettre de donner à l'ampoule une position quelconque.

Le mérite des constructeurs a été d'améliorer les articulations du support de telle sorte que, avec le moins de manipulations possible, et au besoin sans interrompre l'examen, on puisse déplacer l'ampoule en tous sens.

Les constructeurs allemands plus que les nôtres ont travaillé à perfectionner les supports. Ils ont mis un certain luxe dans leurs différents modèles. Le support de Voltohm permet, en desserrant une seule vis, de faire

voyager le tube dans toutes les directions, de l'éloigner ou de l'approcher du sujet, et de le faire pivoter sur son axe. Le support de Max Kohl-Chemnitz diffère peu de celui-ci; il présente en plus un appui isolant pour les fils conducteurs. Hirschmann construit un support muni aussi d'un appui pour les fils conducteurs ; une poignée isolante permet de manier la pince porte-ampoule plus facilement.

Le docteur Max Scheier, qui nous a communiqué une étude complète des supports construits à Berlin, nous signale, en outre, toute une série de supports se fixant à une paroi murale. Il les a employés lui-même et a constaté que les vibrations du sol (toujours augmentées par suite de la longueur des tiges verticales dans les modèles précédents) sont presque évitées ici.

Le docteur Lévy, de Berlin, auteur de plusieurs supports, a fait construire un support-applique élégant. Le support-applique d'Hirschmann, comme ceux de Reiniger, Gibbert et Schall sont aussi des modèles de cabinet à la fois élégants et pratiques.

En principe, le support à pied se plie mieux aux exigences des examens variés. Il présente le léger inconvénient d'amplifier les trépidations du sol, qui contrarieraient la radioscopie et surtout la radiographie. Si l'on opte pour ce système, on pourra éviter cet inconvénient par l'emploi de deux pieds réunis par une tige horizontale (Radiguet et Massiot). Par contre, le support mural conviendra au cas où un médecin, faisant peu de radiographie, voudra pouvoir prendre un cliché sur un lit d'examen quelconque, par exemple le lit qui lui sert habituellement à pratiquer ses examens cliniques.

Tels sont les supports ordinaires d'ampoule.

Ils permettent l'examen d'une partie quelconque du corps, le sujet étant placé dans des positions variées, et notamment dans la position verticale.

Tout praticien doit être muni d'un de ces supports.

Cependant, s'ils suffisent aux examens sommaires, ils ne répondent pas à tous les besoins de la médecine, et, en particulier à ceux de la radioscopie thoracique.

Or, la radioscopie est l'une des applications les plus importantes des rayons X à la médecine. Elle est beaucoup plus utile au praticien que la radiographie. M. Béclère estime que, sur 100 cas, il en est 90 pour lesquels la radioscopie est suffisante (1). Nous devons donc toujours avoir présents à l'esprit les desiderata de l'exploration clinique journalière quand nous voulons améliorer notre matériel.

Eh bien, il est un inconvénient commun à tous les supports précédents quand il s'agit de l'exploration clinique, c'est que l'ampoule, mobile en tous sens, n'est pas mobilisable au gré de l'observateur. Je veux dire que, s'il veut déplacer son tube de 1 centimètre, 1 demi-centimètre à droite, à

(1) Béclère, La Radioscopie et la Radiographie dans les hôpitaux. *Presse méd.*, 21 octobre 1899.

gauche, en haut, etc., il ne peut le faire sans interrompre son examen ou sans déplacer son sujet.

C'est là une question capitale que celle de la mise au point méthodique du tube de Crookes. Tous les auteurs ont insisté sur les aspects variés des organes suivant l'incidence des rayons. Cette variabilité de l'ombre projetée, inconvénient grave, si l'examen est fait sans méthode, devient un avantage considérable si la mise au point a été voulue, cherchée et définie. Or, la mise au point ne sera possible que si l'observateur peut, sans perdre de vue l'ombre projetée sur l'écran, faire voyager son tube, par une manœuvre facile, de l'autre côté du sujet.

Ce déplacement du tube devra, en outre, se faire dans un plan parallèle au plan du corps ou, plus exactement, au plan d'examen (1) de l'organe étudié, car si nous voulons comparer entre elles les ombres projetées sous diverses incidences et revenir plusieurs fois à la même projection, il faut que la distance de l'ampoule reste la même.

Ces considérations m'ont conduit à construire un châssis à ampoule mobile dans un plan donné.

Cet appareil permet de faire prendre à l'ampoule une position quelconque dans son châssis-support par le simple jeu de deux cordons de tirage.

Voici le modèle auquel je me suis arrêté :

Châssis porte-tube vertical. — Le châssis porte-tube vertical se compose essentiellement d'un cadre rectangulaire à grand axe horizontal glissant verticalement le long de deux montants qui forment la charpente de l'appareil et qui mesurent environ $1^{m},90$ (fig. 241).

A l'intérieur de ce cadre glisse, de droite à gauche et inversement, un second cadre à peu près carré, muni d'une pince porte-ampoule.

Le mouvement ascendant ou descendant du grand cadre est commandé par un cordon de tirage qui se meut sur quatre poulies de rappel, et dont la partie externe, en dehors du montant gauche de l'appareil, est accessible facilement à la main. Un contrepoids situé le long du montant gauche permet de placer sans effort le cadre dans toutes les positions, où il se maintient de lui-même.

Le mouvement de latéralité du petit cadre est commandé par un second cordon de tirage glissant sur six poulies de rappel. Dans les mouvements d'ascension ou de descente du grand cadre, ce deuxième cordon glisse sur ses poulies très mobiles, et le petit cadre ne subit aucun déplacement latéral. Au contraire, quand on agit sur ce cordon, le petit cadre seul entre en mouvement, grâce à sa grande mobilité, le grand cadre restant à la même hauteur.

(1) Nous entendons par plan d'examen le plan perpendiculaire au rayon visuel, lorsque nous regardons l'organe en bonne position, et notre œil étant censé reculé à l'infini. Ainsi, le plan d'examen de l'ossature de la main est ordinairement le plan frontal. Il est perpendiculaire au rayon visuel qui regarde la main par sa face dorsale ou par sa face palmaire, l'œil étant reculé à l'infini.

Lorsque l'examen doit durer un certain temps, lorsque l'on se propose de faire, par exemple, le graphique de certaines projections d'organe, il est bon

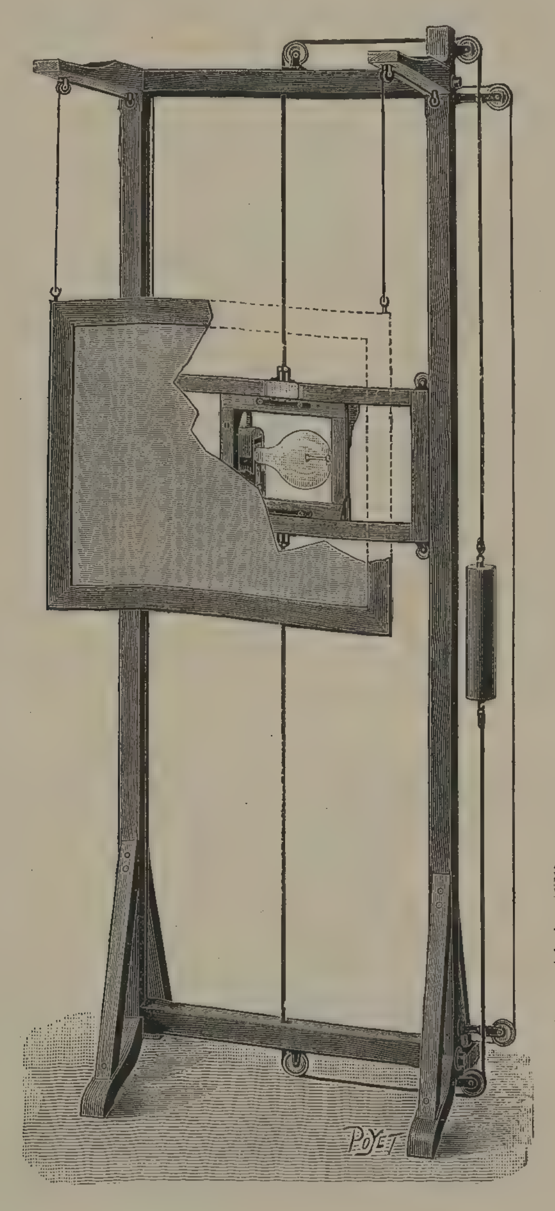


FIG. 241. — Châssis porte-tube vertical avec ses deux cordons de tirage permettant de mobiliser le tube en tous sens. L'écran est supporté par deux courroies, comme l'a fait M. Béclère. (RADIGUET et MASSIOT.)

d'éviter les déplacements involontaires du sujet, déplacements dus à la fatigue. A cet effet les montants verticaux portent deux appuis-bras et un appui cintré de bassin. Ce dispositif permet en outre de placer le sujet aussi

parallèlement que possible au plan du châssis. Ce parallélisme est toujours utile lorsque notre plan d'examen est le plan frontal.

*
* *

Ce châssis-support est légèrement modifié lorsque la salle d'examen est séparée du laboratoire. Les cordons de tirage, au lieu de cheminer le long d'un montant de l'appareil, traversent obliquement la cloison à gauche du panneau d'aluminium, et leur partie verticale se trouve ainsi à la portée de la main de l'observateur, qui manie son ampoule, d'une pièce à l'autre, aussi facilement que si la cloison n'existait pas. Ce procédé, adopté depuis plusieurs années par M. le professeur Bouchard à l'hôpital de la Charité, lui a toujours donné de bons résultats.

M. Béclère, qui a adopté notre châssis porte-ampoule, l'a muni de deux potences qui permettent d'avoir en même temps un support d'écran (V. fig. 241); il y a ajouté aussi un diaphragme-iris en plomb, qui permet de restreindre à volonté le champ d'éclairement et de lui donner une forme quelconque (1).

Avant de terminer cette étude des supports de tubes, je dois signaler aussi l'emploi de la chambre noire avec écran et tube se déplaçant solidairement. Je reviendrai sur ce dispositif en décrivant les supports d'écran.

En avant du tube de Crookes, nous plaçons l'indicateur d'incidence,

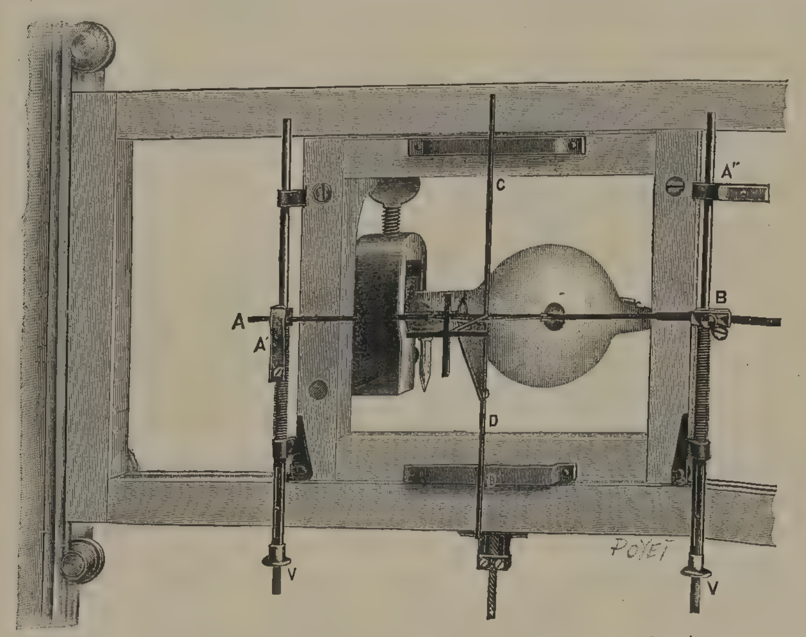


Fig. 242. — Indicateur d'incidence muni de son radioguide de réglage. (Radiguet et Massiot.)

(1) V. *Arch. d'Électricité médicale*, 15 oct. 1900.

dont nous verrons plus loin l'usage. C'est une croisée de fils, qui marque le trajet du rayon normal au plan du châssis. On le voit sur la figure 242. Le réglage de la croisée de fils sur le trajet du rayon normal se fait au moyen d'un radioguide normal (fig. 243), qui se place sur la croix, ainsi que

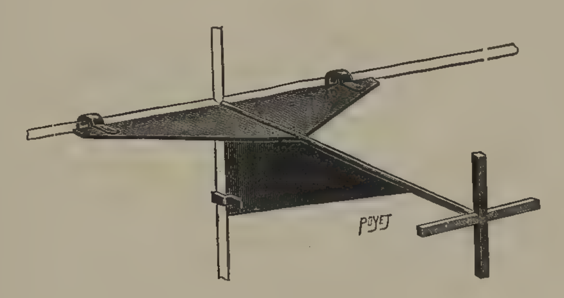


FIG. 243. — Radioguide de réglage.

l'indique la figure 242. On déplace la croisée au moyen des vis V,V' et B, jusqu'à ce que la croisée du radioguide et la croisée de fils se confondent en un seul point sur l'écran fluorescent tenu en avant du système. On peut dégager à volonté le champ d'éclairement en relevant la croix sur son pivot.

C. — SUPPORTS D'ÉCRAN.

Nous tenons ordinairement notre écran à la main. C'est le procédé le plus pratique pour explorer commodément notre malade.

L'écran, encadré de bois et protégé par une feuille de celluloïd, est très léger et se prête aux examens prolongés.

Les écrans montés sur verre ou enchâssés dans un cadre spécial, tel que celui du docteur Max Lévy, sont plus lourds, et le support d'écran devient utile.

Je ne m'attarderai pas à décrire les supports ordinaires, que l'on trouve chez la plupart des constructeurs français et étrangers, supports qui immobilisent l'écran dans une position donnée. L'écran maniable à volonté est seul pratique pour la radioscopie courante, et les supports sont peu employés. L'écran fixe et mobilisable seulement dans un plan (châssis à coulisse) a pourtant donné de bons résultats à M. Loison au Val-de-Grâce (1). Il est indispensable dans certains cas : exécution de graphiques sur le plan de projection par exemple (p. 541).

Cependant, il sera bon parfois d'avoir sous la main un support articulé. C'est lorsque, pour les petites opérations courantes, pour la recherche des aiguilles en particulier, les deux mains sont nécessaires. Tout praticien a

(1) LOISON, Installation radiographique du Val-de-Grâce. *Arch. d'Élect. médicale*, 15 janvier 1900.

certainement vu combien cette recherche, en apparence facile, est délicate sur le vivant. Quoique les repères aient été bien marqués et toutes les précautions prises, une fois l'incision faite, nous cherchons vainement à pincer le fragment introuvable. Alors que faisons-nous ? Avec une pince fine nous allons, sous le fluoroscope, à la recherche de l'aiguille, et, lorsque nous avons amené l'ombre des mors de la pince en coïncidence avec l'ombre du corps métallique, nous sentons la résistance caractéristique qui nous dit que nous touchons le but. Ce travail sous le fluoroscope ne peut se faire qu'à la condition d'avoir un support d'écran.

A côté de ces supports ordinaires, il en est un bien plus utile pour la radioscopie thoracique, c'est celui que le docteur Béclère a fait adapter au châssis vertical et dont j'ai dit un mot déjà.

Deux équerres, fixées à la partie supérieure du châssis, supportent, par l'intermédiaire de quatre poulies de rappel, l'écran, qui vient se placer naturellement dans un plan parallèle au châssis. Deux contrepoids lui font équilibre.

L'observateur peut ainsi le placer à une hauteur quelconque, le tourner en tous sens, le mobiliser selon les besoins, comme s'il était libre, et cela sans avoir à en supporter la charge.

C'est ce même système d'écran mobile qui est employé dans l'examen en grande chambre noire par M. Wertheimer. Grâce à un système de courroies et de poulies de rappel, le tube de Crookes et l'écran se déplacent solidairement de haut en bas ou de bas en haut, l'un par derrière le malade, l'autre dans la chambre noire devant l'observateur (1).

J'ai dit tout à l'heure que l'écran fluorescent était recouvert de verre ou de celluloïd.

Ceci m'amène à dire un mot de différentes montures utiles dans certains cas.

C'est d'abord la chambre noire portative, appelée aussi cryptoscope. Certains auteurs lui réservent le nom de fluoroscope. C'est une sorte d'entonnoir fixe ou pliant, dont la grande base est constituée par un écran de platino-cyanure de baryum, et dont la petite base porte une emboîture s'adaptant exactement sur le haut du visage. Cet appareil est plus utile aux employés de la douane qu'aux médecins, car il ne nous permet pas d'arriver à l'accommodation visuelle indispensable à nos examens dans le laps de temps relativement court que dure l'examen lui-même.

Je dois faire aussi mention des « écrans universels », celui du docteur Max Lévy de Berlin, en particulier : ce sont des montures pouvant recevoir des écrans de toute grandeur. Elles permettent, en outre, de cacher facilement les régions de l'écran éclairées directement et aveuglantes pour l'observateur qui étudie des régions plus ombrées. Notre collaborateur allemand, M. Max Scheier, à qui nous devons la description de ces appareils, nous dit

(1) *Arch. d'Électricité médicale*, 15 juin 1899. Chambre noire de Wertheimer.

que l'emploi courant en est très utile. Pour ce qui est de la suppression des parties trop éclairées, on arrive plus pratiquement au même résultat par le diaphragme-iris de M. Béclère, dont j'ai déjà parlé (p. 500).

Je dois aussi signaler un support d'écran de M. Williams. Il se compose d'une chambre à air en avant de laquelle se trouve l'écran, la paroi postérieure étant formée par une plaque d'ébonite. Un stéthoscope est en relation avec elle. Cet appareil (*seeheart*) lui sert à l'examen du cœur. En même temps qu'on entend les bruits du cœur, on voit ses mouvements.

La radioscopie du sujet en position verticale ne nécessite donc qu'un outillage simple. Quant à la radiographie du sujet dans cette même position, elle est peu pratiquée. Cependant, depuis que les améliorations de l'appareillage nous ont permis des poses plus courtes, nous pouvons, dans certains cas, y avoir recours. Alors il faudra fixer la plaque sensible contre un panneau servant de plan d'appui au sujet. Le plus simple est d'improviser un mode de fixation à la hauteur voulue, ne serait-ce qu'avec de fortes punaises, car je ne connais pas de support universel pour cette opération rarement pratiquée.

La maison Hirschmann, de Berlin, a construit cependant un support, surtout utile pour le décubitus, mais utilisable en station debout, support qui permet de fixer la plaque contre un châssis plan, mobile en tous sens.

§ 3. — Examen du sujet dans le décubitus.

Nous avons dit que la station verticale convient avant tout à la radioscopie. Pour pratiquer la radiographie, on se sert de lits, de tables, ou de fauteuils, qui assurent la position du malade et permettent de l'irradier sous un point de vue quelconque.

Je n'insisterai pas beaucoup sur l'emploi des fauteuils, assez analogues aux fauteuils articulés pour malades, avec un dossier s'inclinant à volonté, de même que les supports des bras et des jambes. La maison Radiguet possède cependant un fauteuil très pratique dans certains cas. La maison Hirschmann, de Berlin, se sert d'une chaise tout à fait simple, que le docteur Max Scheier nous dit être commode pour les radiographies thoraciques avec incidence antérieure, comme pour celles des genoux et des pieds. Ce mode opératoire a donné de bons résultats à plusieurs auteurs et notamment à Williams, à Holzknecht.

En général, on se sert plutôt de tables ou de lits, dont les modèles sont variés à l'infini.

Le docteur Max Lévy, de Berlin, a fait construire une table qui permet de faire la radiographie du sujet soit avec l'ampoule au-dessus de lui, soit avec l'ampoule en dessous. Le plateau est constitué à cet effet par une toile cirée à cadre tenseur. La toile cirée est très perméable, mais n'offre pas une soli-

dité à toute épreuve ; aussi voyons-nous la plupart des constructeurs français ou étrangers avoir recours au bois. Il est indispensable en ce cas que le plateau soit formé d'une série de panneaux enlevables à volonté.

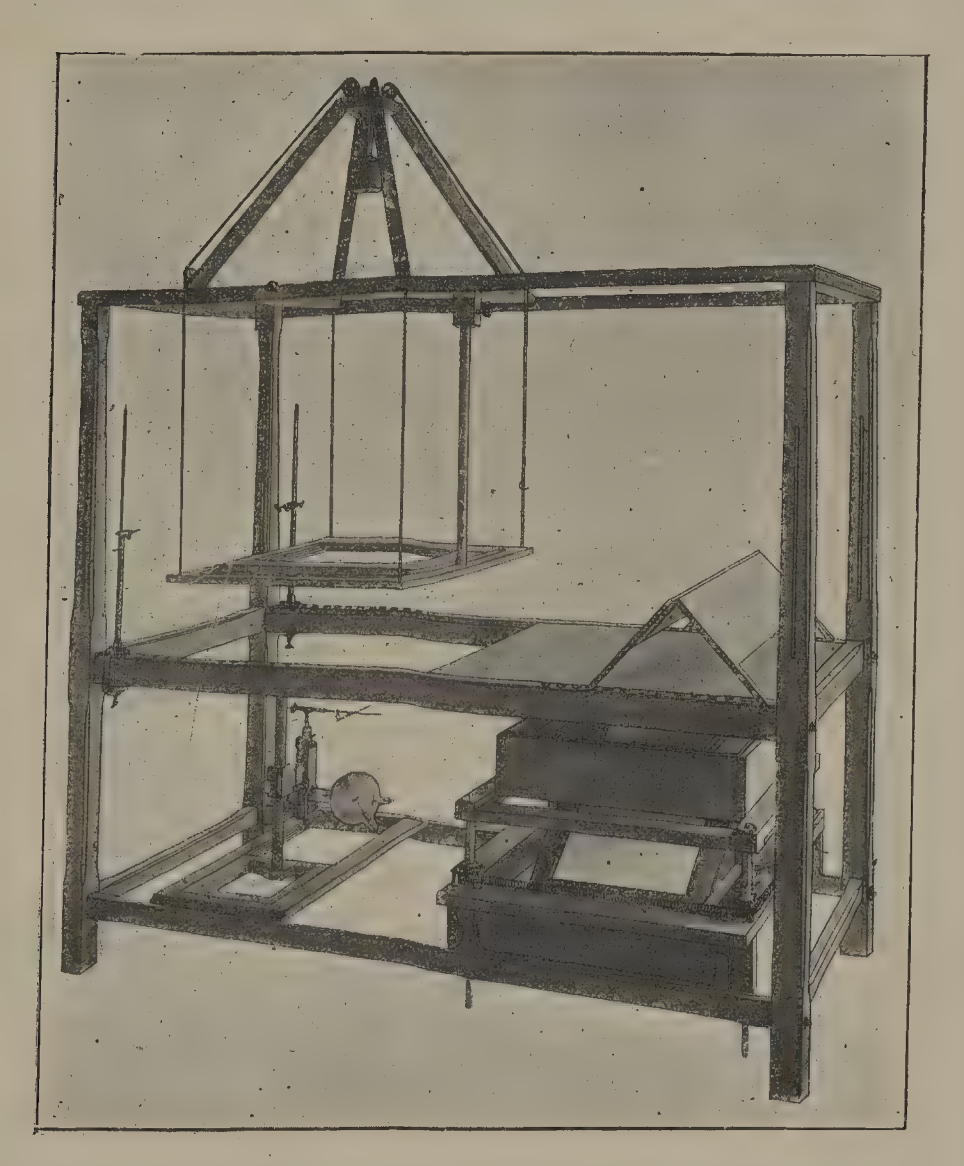


Fig. 244. — Lit radiologique permettant la radioscopie et la radiographie avec ampoule au-dessus ou ampoule au-dessous, et recevant les divers appareils utiles : compas pour la recherche des corps étrangers, instruments de mesures, etc. (Radiguet et Massiot.)

M. Londe, à la Salpêtrière, a construit un lit muni d'un cadre sus-jacent, où glisse le support d'ampoule, qui peut prendre une position quelconque. Il a fait, en outre, adjoindre à ce lit deux côtés mobiles qui, en se relevant,

forment une sorte de caisse dans laquelle le sujet se trouve enfermé. Ces côtés, ainsi que le plancher du lit, sont garnis d'une feuille métallique épaisse. On place alors, par-dessus le tout, une autre planche également garnie de métal, sauf dans la partie centrale, qui est percée pour le passage des radiations. On règle le diamètre de cette ouverture par l'apposition de diaphragmes en plomb. On réalise ainsi facilement la caisse métallique qui a été vivement recommandée par divers opérateurs pour éviter le voile de la plaque et les effets de la dissémination des rayons X. D'ailleurs, l'auteur n'a jamais trouvé un grand avantage à l'emploi de ces écrans latéraux (1).

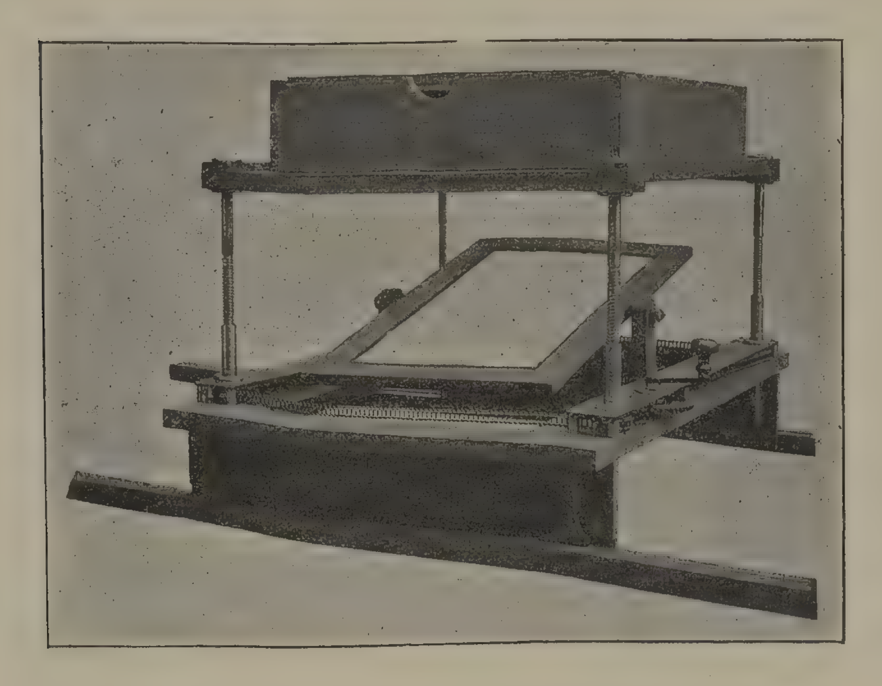


Fig. 245. — Châssis à élévation pour l'écran et pour la plaque dans le cas de l'incidence supérieure. (Radiguet et Massiot.)

M. Contremoulins se sert aussi d'une table d'opération au-dessus de laquelle est placé un cadre métallique assez élevé. Ce cadre métallique supporte l'ampoule par l'intermédiaire de deux tiges à glissières qui permettent de déplacer l'ampoule dans tous les sens (2). Williams décrit dans son traité un modèle de lit dont le plateau est formé par un brancard-civière reposant sur deux tréteaux élevés (3). Deux tringles d'acier maintiennent l'écartement des brancards lorsque la civière est en place.

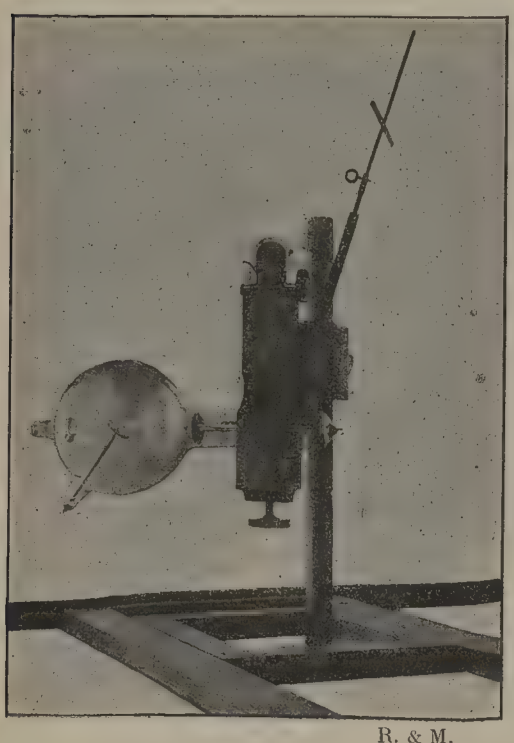
La tâche serait longue de décrire tous les lits ou tables employés par les

(1) Londe, *Arch. d'Électricité médicale*, 15 juin 1899.
(2) G. Contremoulins, *la Radiographie dans les hôpitaux* (imprimerie Gautherin).
(3) *The Röntgen Rays in Med. and Surgery*, 1902.

divers opérateurs. Qu'on aille dans un laboratoire quelconque, on trouvera toujours un dispositif où se montre l'ingéniosité de son auteur.

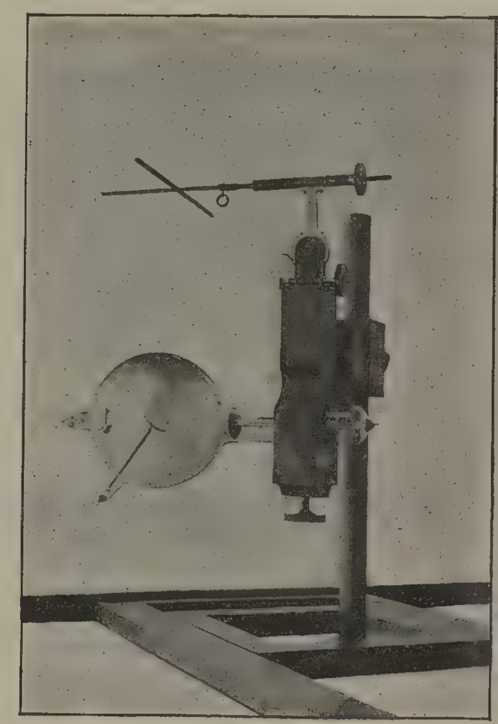
Je me bornerai à décrire ici en quelques lignes le modèle auquel nous nous sommes arrêtés au cours de l'étude spéciale que j'ai faite de ces questions techniques au laboratoire du professeur Bouchard.

MM. Radiguet et Massiot ont d'ailleurs apporté de nombreuses modifications au dispositif que nous employions et c'est parce que le modèle définitif



R. & M.

FIGURE 246.



R. & M.

FIGURE 247.

me paraît répondre à tous les besoins de la pratique que je lui consacre un paragraphe spécial.

Comme on le voit par la figure 244, ce lit présente un plateau destiné à recevoir le malade. Au-dessus de lui est un châssis où glisse le système de double cadre porte-ampoule analogue à celui de l'appareil vertical ci-dessus (fig. 241). Au dessous est un autre châssis pour supporter, soit l'écran avec une glace de réflexion, soit les cadres porte-ampoule.

Ce châssis est construit de telle sorte que l'on peut substituer la plaque à l'écran sans déplacer le sujet. La figure 245 fait voir le mécanisme qui permet d'élever et d'abaisser parallèlement au plan du lit le support de plaque

ou d'écran. On peut ainsi pratiquer l'examen radioscopique préalable, rechercher l'incidence d'élection et la déterminer et, quand toutes ces opérations préliminaires sont achevées, on abaisse le châssis, on substitue la plaque à l'écran et on l'élève ensuite aussi haut qu'on veut, jusqu'à ce que le malade soit légèrement soulevé par le plateau, condition nécessaire pour assurer le contact parfait.

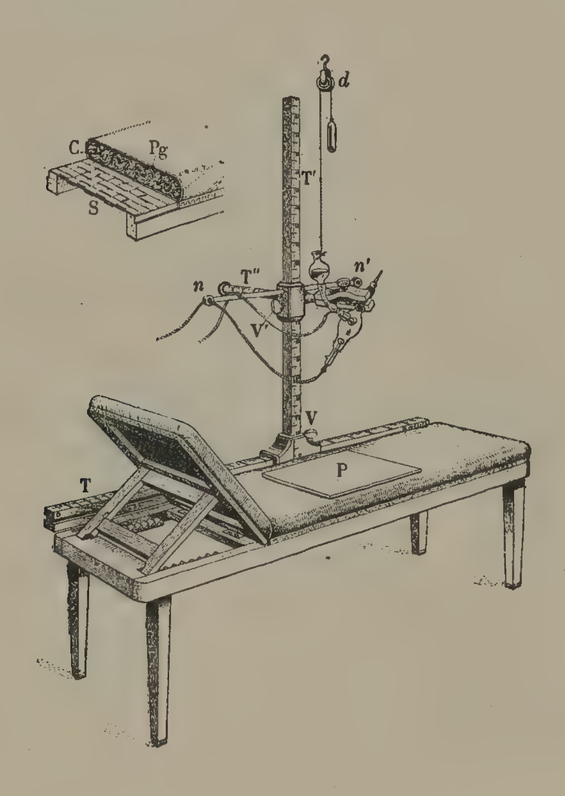


Fig. 248. — Lit du professeur Bergonié.

T, T', T", glissières dans les trois plans de l'espace ; — V, V', vis de fixation des glissières ; — *n*, *n'* supports et anneaux isolants pour les fils venant de la bobine ; — *d*, soutien de l'ampoule de réfrigération du tube de Crookes ; — P, plaque bimétallique ; — En cartouche, la constitution du matelas du lit perméable aux rayons X ; — P*g*, pigamoïd ; — C, crin animal ; — S, sangles.

On voit en outre, au-dessus du lit, un autre châssis, pour les incidences de bas en haut. Il sert à supporter la plaque et l'écran.

Le plateau est, à volonté, formé par un châssis canné ou par des panneaux de bois. Suivant les besoins, on emploie l'un ou l'autre. Le châssis canné peut servir de civière.

On peut adapter à ce lit les appareils pour la recherche des corps étrangers, pour la détermination des incidences, ou ceux utiles à la radiographie stéréoscopique.

Devant l'anticathode nous plaçons un indicateur d'incidence analogue à

celui que j'ai décrit plus haut (châssis vertical, p. 499). Cet indicateur se compose d'une croix métallique, dont on règle la position devant l'ampoule et qui peut se dégager en pivotant autour de sa charnière en dehors du champ d'éclairement. Les deux figures 246 et 247 montrent les deux positions de l'indicateur.

Nous verrons plus tard comment on peut radiographier chaque région; d'ailleurs, pour chacune de ces opérations, pour la radiographie du bassin en particulier, il y a certaines particularités de la technique qui trouveront leur place aux chapitres qui leur sont consacrés.

Ce lit, comme d'ailleurs la plupart des lits ou tables de laboratoire, présente, à côté de ses grands avantages pratiques, le défaut d'occuper beaucoup de place.

Lorsque l'on a surtout en vue de pratiquer les radiographies avec incidence supérieure, il est un modèle de lit tout à fait simple et très confortable imaginé par M. Bergonié. La figure 248 en montre la construction, et l'on voit en particulier, en C, un matelas de crin perméable aux rayons X, et permettant l'examen radioscopique. La plaque sensible repose sur une plaque bimétallique, plomb et acier, que l'on voit en P.

On peut se contenter, lorsqu'on ne dispose que d'une pièce exiguë, d'un modèle de lit pliant, tel, par exemple, que celui de la figure 249; c'est

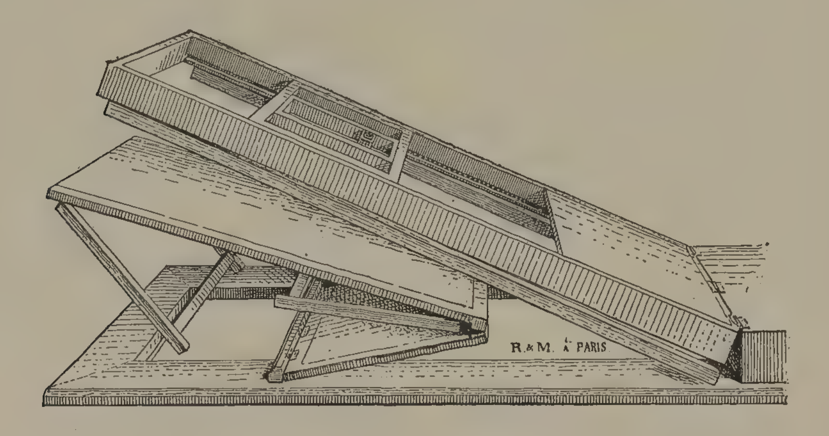


FIG. 249. — Lit pliant permettant seulement la radiographie avec incidences supérieures.

une table de 2 mètres environ avec, au-dessus d'elle, un cadre porte-ampoule. Les différentes parties s'emboîtent les unes dans les autres contre un mur de la pièce et ne tiennent pas plus de 12 centimètres d'épaisseur.

Le docteur Béclère a, dans le même but, réalisé un ingénieux dispositif

qui permet d'employer le cadre porte-tube vertical pour la radiographie du sujet couché (1). A cet effet, il a rendu basculable le cadre moyen, et la figure 250 fait voir que l'on peut ainsi facilement obtenir les déplacements du tube dans les trois sens : vertical, longitudinal, transversal.

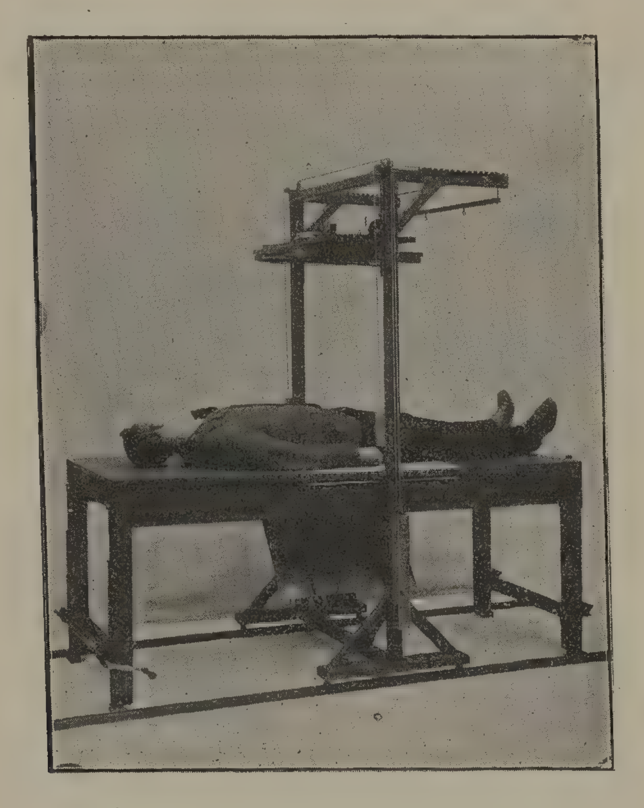


Fig. 250. — Dispositif du docteur Béclère permettant de se servir du cadre porte-tube vertical pour la radiographie dans le décubitus.

En radiographie plus qu'en radioscopie, les écrans protecteurs d'aluminium sont usités. On les adapte devant l'ampoule par des moyens analogues.

APPENDICE

A. — **Dispositif permettant de modifier à tout moment l'éclairement au cours des examens.** — A ces différentes questions relatives à la technique de la radiologie s'en rattache une autre, plus particulière aux examens radioscopiques : c'est celle de l'intensité de l'éclairement.

L'éclairement doit pouvoir être modifié à volonté : au cours des examens

(1) *Arch. d'Élect. méd.*, p. 326, 1901.

certains détails sont noyés par trop de lumière, d'autres n'apparaissent que par de puissants éclairements.

Aussi, est-il bon, dans toute installation radioscopique, de pouvoir introduire à volonté un petit rhéostat supplémentaire placé à portée de la main, grâce à un interrupteur à deux directions placé dans le tableau, et à une prise de courant placée sur l'une de ces directions. Le rhéostat supplémentaire se monte par l'intermédiaire de deux fils souples sur cette prise de courant.

B. — **Dispositif pour mesurer l'étincelle équivalente.** — On sait toute l'importance qu'il y a à connaître la longueur de l'étincelle équivalente pour apprécier la marche d'un tube. M. Béclère a fait construire, sous le nom de spintermètre, un petit appareil qui donne à chaque instant cette

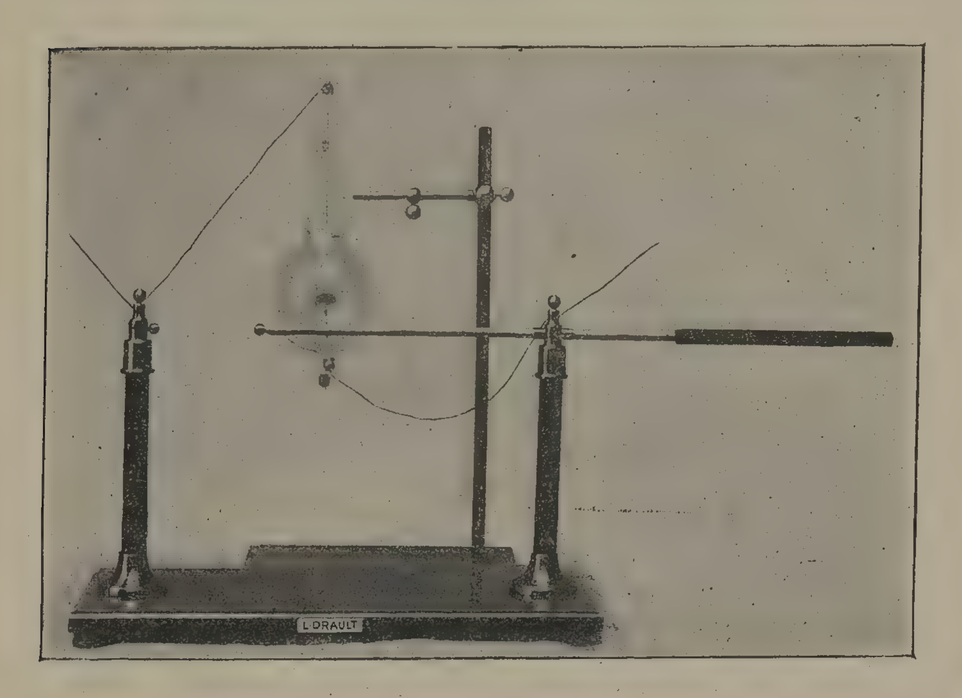


Fig. 251. — Spintermètre du docteur Béclère. (Drault.)

longueur. La figure 251 le fait comprendre mieux que toute description. L'étincelle maxima, qui tend à éclater entre les deux boules de l'éclateur, lorsqu'on fait varier leur écartement, est mesurée par une graduation portée sur la tige support de l'une des boules de l'éclateur. Le mode d'emploi est des plus simples : les deux boules étant assez rapprochées pour que l'étincelle éclate, on retire doucement la tige mobile dans la coulisse jusqu'à ce que l'étincelle n'éclate plus à chaque décharge, mais seulement de façon intermittente. L'analyseur d'induction de Bouchacourt est en même temps un spintermètre (p. 623).

DEUXIÈME SECTION. — DE LA MÉTHODE SUIVANT LAQUELLE NOUS DEVONS PRATIQUER LA RADIOSCOPIE ET LA RADIOGRAPHIE

§ 1. — **Considérations générales.**

L'image que nous voyons sur l'écran fluorescent ou sur la plaque photographique est une projection conique d'organes situés dans des plans différents.

Les notions que nous tirons de ces images (la tonalité des ombres étant mise à part) résultent de la comparaison de leurs formes et de leurs rapports.

Or, ces formes, ces rapports varient à l'infini, suivant la position du tube de Crookes, suivant la position du sujet et suivant le plan de projection.

Immobilisez le sujet et le tube, inclinez diversement l'écran ou la plaque sensible, vous verrez les ombres se déformer tout en conservant leurs rapports.

Immobilisez le tube et l'écran et faites pivoter le sujet sur lui-même, vous verrez les ombres devenir tout autres, parce que vous n'observez plus le sujet du même point de vue, vous ne le regardez plus suivant le même *plan d'examen*.

Immobilisez le sujet et l'écran et changez la place du tube, vous verrez les ombres, sans devenir tout autres, se déformer et changer de rapports.

Parmi l'infinité de projections que nous pouvons ainsi obtenir, il en est un petit nombre qui sont utiles. Il en est une seule, le plus souvent, qui nous fait voir l'organe considéré ou, en général, l'opaque étudié, avec le minimum de déformation.

Quand nous avons trouvé cette projection, il faut pouvoir la définir, pour que d'autres observateurs puissent se placer dans des conditions identiques et puissent interpréter nos épreuves ou les contrôler.

Les principes qui nous permettront d'opérer dans les positions utiles et de définir ces positions constituent *la méthode* en radiologie médicale.

Principes de la méthode. — Il y a trois facteurs dans la définition de l'incidence :

La position du tube ;

Celle du sujet ;

Celle du plan de projection.

Toute méthode complète consistera à déterminer deux de ces facteurs par rapport au troisième, ou inversement.

On s'est surtout occupé de la méthode en *radiographie*. Les examens *radioscopiques* sont, en général, pratiqués un peu au hasard.

En radioscopie, en effet, la position du sujet est ordinairement mal

assurée, puisqu'il est presque toujours debout. En outre, l'écran est essentiellement mobile.

Nous verrons que la méthode sera générale, convenant aux deux cas ; mais, pour ne pas compliquer notre étude, nous nous attacherons d'abord à la méthode appliquée à la radiographie.

§ 2. — De la méthode en radiographie.

A. — Historique

Nous trouvons éparses chez tous les auteurs des règles opératoires.

Considérant surtout les rapports de l'ampoule à la plaque sensible, beaucoup de radiographes ont parlé de la distance de cette ampoule à la plaque. Presque tous notent cette distance sur leurs épreuves. Virgilio Machado (1), Bertin-Sans (2), Williams, etc., emploient des dispositifs spéciaux pour mesurer la distance du foyer d'émission. Marey, Contremoulins, Williams, etc., demandent que cette distance soit constante, pour que les résultats soient comparables.

Dans ce même ordre d'idées, plusieurs auteurs ont proposé que le point d'incidence normale soit toujours marqué sur le cliché, c'est-à-dire qu'un signe particulier indique le pied de la perpendiculaire abaissée du centre de l'anticathode sur la plaque (Contremoulins, Virgilio Machado, Bertin-Sans, Williams). L'ingénieux appareil de notre collaborateur Bertin-Sans a l'avantage de déterminer par deux ombres, situées hors de l'image utile, à la fois le point d'incidence normale et la hauteur du cône d'émission. Nous le décrirons plus loin.

S'attachant, au contraire, à définir la position du sujet par rapport à la plaque, certains opérateurs ont placé des repères métalliques sur le corps pour en avoir l'ombre sur le cliché. Marie a marqué les contours de la surface d'appui du corps sur la plaque. Roumaillac fixe des fils de plomb sur les plis de la main, jugeant avec raison que, même dans une région simple comme la main, il est difficile d'établir les rapports des ombres profondes projetées avec les téguments. Il est plus difficile encore de replacer le sujet sous la même incidence pour reprendre une épreuve identique lorsque l'on n'a d'autre guide que la première épreuve, fût-elle marquée du point d'incidence normale.

D'une façon plus générale, presque tous les auteurs ont émis le vœu que le sujet soit pris en plan frontal ou en plan sagittal, c'est-à-dire que le plan

(1) Sur un appareil, pour orienter le foyer producteur des rayons X, et mesurer sa distance au fluoroscope, on a une plaque photographique. *Arch. d'Élect. méd.*, 15 septembre 1900.

(2) *Arch. d'Élect. Méd.*, 15 juin 1900.

sous lequel le sujet est examiné (plan d'examen) soit le plan frontal ou le plan sagittal (1) du corps.

Ce court aperçu, que j'abrège, parce qu'il faudrait citer presque tous les radiographes, si l'on voulait réunir tous les éléments disséminés dans leurs travaux, ce court aperçu montre assez la nécessité d'une méthode générale, et l'accord est à peu près fait sur les points fondamentaux de cette méthode.

B. — Exposé de la méthode en radiographie

En radiographie, le facteur le plus fixe, celui qui peut servir de base à la définition, parmi les trois facteurs à définir, c'est la position de la plaque. Le plan de la plaque photographique a été pris avec raison par la plupart des radiographes, comme le repère fondamental servant de base à la définition de l'incidence.

Nous définirons donc la position du corps et celle du tube par rapport à ce plan.

I.— **Définition de la position du corps par rapport au plan de projection.** — Lorsque nous examinons un thorax, par exemple, nous pouvons nous proposer de comparer les régions symétriques des côtés droit et gauche dans les différentes couches successives qui s'offrent à nous. Ces plans successifs renfermant les diverses parties symétriques que nous voulons examiner (ou simplement plans d'examen) sont des plans fictifs, que déterminent seuls les besoins de l'examen clinique. Ainsi, nous pouvons avoir besoin de comparer les deux poumons dans les plans frontaux successifs, comme nous pourrions avoir besoin de faire des coupes en plan frontal dans un sujet congelé ; mais nous pouvons aussi avoir besoin de voir le sciagramme de l'aorte dans un plan oblique qui n'est ni frontal, ni sagittal, comme nous pourrions avoir besoin de faire une coupe oblique chez le sujet congelé dans la même direction.

Les règles relatives à la position du corps par rapport au plan de projection ont pour objet de définir la position du plan d'examen, arbitrairement choisi par rapport à ce plan de projection.

Étant donné un plan d'examen, quelle devra donc être sa position par rapport au plan de projection pour que le sciagramme des contours d'organes pris dans chacune des coupes successives d'examen ne soit pas déformé ? En vertu d'un théorème de géométrie bien connu, les surfaces interceptées par un faisceau conique sur deux plans parallèles sont fonction de la hauteur du cône d'émission au-dessus de chacune d'elles. Les surfaces sont entre elles comme les carrés des hauteurs correspondantes, et les lignes homologues de ces surfaces sont entre elles comme ces hauteurs.

(1) Le plan frontal est le plan parallèle à la suture frontale (fronto-pariétale) ou encore le plan suivant lequel on voit le sujet quand il se présente « de front »: le plan sagittal est le plan renfermant la suture sagittale ou bipariétale.

C'est dire que, si l'on faisait dans un thorax une coupe frontale d'une épaisseur négligeable, et qu'on la place parallèlement au-dessus d'une plaque radiographique à la distance qu'elle aurait si elle appartenait au corps entier, les éléments de cette coupe se projetteront sans déformation sur la plaque, avec un agrandissement linéaire proportionnel au rapport des distances respectives de la coupe et de la plaque au centre de l'anticathode. Il en serait de même pour la série des différentes coupes frontales successives. Les sciagrammes de chacune de ces coupes ne seront point déformés, mais les agrandissements de chacun d'eux seront différents, et d'autant plus grands que la coupe considérée sera plus éloignée de la plaque.

Si la projection était obtenue par un faisceau parallèle, les sciagrammes de chaque coupe frontale fictive seraient obtenus en grandeur vraie et sans déformation. On se rapprochera d'autant plus de ce résultat idéal que la hauteur du cône d'émission sera plus grande.

Ce qu'il faut donc retenir de ces considérations, c'est que l'image radiographique est constituée par la superposition d'une série de sciagrammes de coupes élémentaires parallèles à la plaque sensible, sciagrammes non déformés, quelle que soit l'obliquité des rayons irradiants. Le changement dans la direction des rayons, nous le verrons, ne modifie nullement la forme des projections de chaque coupe élémentaire parallèle, mais il modifie le mode de superposition de ces sciagrammes élémentaires. On se rendra facilement compte de ce fait, en plaçant un anneau très mince au-dessus d'une feuille de papier et en mettant le plan de cet anneau exactement parallèle à la feuille. Eclairons-le par une source lumineuse sous une incidence quelconque, il se projettera toujours sous forme d'un anneau. Au contraire, mettons à sa place une balle de plomb ; son ombre se déformera de plus en plus à mesure que l'incidence sera plus oblique, parce que les sciagrammes élémentaires des couches parallèles à la feuille de papier se superposent de plus en plus excentriquement les uns par rapport aux autres, à mesure que l'obliquité de l'incidence augmente.

De cette étude nous devons donc conclure que, *pour voir une région avec le minimum de déformation dans un plan d'examen donné, il faut avant tout placer cette région de telle façon que le plan d'examen proposé soit parallèle au plan de projection.* C'est là la première règle fondamentale de tout examen.

Il faut l'entendre en ce sens que l'image obtenue sera constituée par la superposition des sciagrammes non déformés de chaque couche parallèle successive de la région; mais le mode de superposition de ces sciagrammes variera avec l'incidence, et ces variations entraîneront des déformations plus ou moins considérables de l'image totale.

Le parallélisme du plan d'examen et du plan de projection est donc une condition essentielle pour obtenir le minimum de déformation du sciagramme total, mais ce n'est pas la seule : la direction du faisceau irradiant sera non moins importante.

Avant de passer à cette deuxième question, je dois ajouter que, pour la commodité de la définition et de l'interprétation des clichés, on doit choisir, autant que possible, le plan frontal ou le plan sagittal comme plan d'examen. Mais la règle n'a rien d'absolu, je le répète.

Je dois ajouter aussi qu'il est des cas où l'on ne peut placer la plaque parallèlement au plan d'examen : par exemple, s'il s'agit de la radiographie du détroit supérieur. Le plan d'examen est alors le plan même du détroit, et il est difficile d'établir ici le parallélisme. On a alors une déformation inévitable.

En résumé, la loi régissant la position du corps par rapport au plan de projection peut s'énoncer ainsi : *Placer le plan d'examen parallèlement à la plaque, autant que faire se peut, et, à moins d'indication spéciale, faire choix, comme plan d'examen, du plan frontal ou du plan sagittal.*

II. — **Définition de la position du tube de Crookes par rapport au plan de projection et au corps.** — Nous avons devant nous un thorax que nous voulons voir en plan frontal. Nous avons placé notre plaque parallèlement au plan frontal, en faisant reposer sur elle notre malade dans le décubitus. Considérons par la pensée une coupe frontale mince du thorax voisine du sternum, et une seconde coupe frontale mince voisine du rachis; ces deux coupes, nous le savons, seront projetées sans déformation, quelle



FIG. 252.

Trait plein : projection orthogonale; — Trait pointillé : projection conique avec incidence normale sur l'angle inférieur de l'omoplate du côté opposé (incidence postérieure) (D = $0^{m},60$).

que soit la direction des rayons, la première un peu plus agrandie que la seconde, en raison de la conicité du faisceau irradiant. Mais quelle sera la position du premier sciagramme élémentaire par rapport au second? Cette relation des deux images élémentaires sera déterminée par la direction des rayons : plus l'ampoule sera à droite de la normale médiane par exemple, plus le premier sciagramme sera à gauche du second. Or, l'image d'ombre totale, réelle, résulte de la superposition des sciagrammes élémentaires de toutes les couches frontales successives. Pour que cette image d'ombre totale donne une idée exacte de la région étudiée, il faut que les sciagrammes élémentaires successifs se superposent de manière à altérer le moins possible l'image de chacun d'eux. Dans le cas d'une balle de plomb, nous arrivons à ce résultat en éclairant normalement (1) son centre, car alors les sciagrammes élémentaires sont concentriques. Ici nous arrivons au minimum de déformation en éclairant normalement le centre de la région étudiée, car alors nous nous rapprochons de la vue idéale d'un thorax transparent qui s'offrirait frontalement (2) à nous. La figure 252 peut nous donner une idée de la déformation du sciagramme total d'un thorax par le changement d'incidence. Le trait plein indique à peu près (3) la projection obtenue avec incidence normale en A. Le trait pointillé indique la projection obtenue lorsque l'incidence normale tombe sur l'angle inférieur de l'omoplate du côté opposé (vers B). On voit que les ombres sont d'autant plus déjetées en haut et à gauche de la figure qu'elles appartiennent à des couches plus postérieures, c'est-à-dire plus éloignées de la plaque : ainsi, les extrémités antérieures des côtes coïncident à peu près, tandis que les articulations costorachidiennes sont fortement déjetées en haut et à gauche dans la projection pointillée.

Nous verrons dans l'étude de l'application de cette méthode comment on trouve le rayon normal à la plaque, et comment on peut l'amener au centre de la région intéressante. Contentons-nous de dire pour le moment que, suivant le desideratum énoncé par plusieurs auteurs, on devra marquer par un procédé quelconque le point où le rayon normal incident frappe la plaque sensible (procédé de Contremoulins, Béclère, Bertin-Sans, Machado, etc.).

En résumé, nous pouvons formuler cette seconde règle ainsi : *Pour avoir le minimum de déformation, placer le centre de l'anticathode sur la normale aux plans de projection et d'examen, passant par le centre de la région intéressante. Marquer le pied de cette normale sur la plaque.*

(1) C'est-à-dire par un rayon perpendiculaire au plan de projection.

(2) C'est-à-dire de telle façon que le plan frontal soit perpendiculaire à la direction de notre rayon visuel, notre œil étant censé reculé à l'infini.

(3) En réalité, dans cette figure, le trait plein correspond à une projection orthogonale obtenue par le rapprochement d'une série de radiographies prises sous des incidences variées.

La méthode est-elle ainsi complète et suffisante? Non.

Prenez un cliché de thorax étiqueté : *position frontale, incidence normale antérieure. Le pied de la normale marqué sur le cliché, par exemple, à 3 centimètres à gauche de la projection du rachis dans la région moyenne du cœur. Distance de l'ampoule,* 50 *centimètres.*

Vous voulez reprendre un cliché semblable chez le même sujet?

Vous placez votre sujet en décubitus dorsal. Vous placez votre ampoule à la distance voulue de la plaque, puis vous l'amenez devant la région précordiale. Mais à quel endroit la mettre exactement? Vous aurez quelquefois des repères profonds, vous chercherez à repérer le point normal par rapport aux côtes, au bord du cœur; la plupart du temps, vous ne saurez pas à quel point des téguments correspond votre incidence normale.

Les indications du cliché suffiront à peu près, comme le dit Bertin-Sans (*loc. cit.*), pour interpréter une radiographie ; elles ne suffiront pas pour en reproduire une semblable, et la méthode sera incomplète.

Le complément nécessaire, c'est d'indiquer quel est le point des téguments frappé par le rayon normal.

Quand les repères anatomiques suffisent, rien de plus simple. On dira, par exemple : incidence normale sur le milieu du bord supérieur de la fourchette sternale, ou sur le mamelon gauche, sur l'ombilic, etc. Quand les repères anatomiques manquent, la définition est plus difficile. J'ai proposé au Congrès de Boulogne de 1899 de définir ce point par ses coordonnées sur un axe conventionnel choisi pour chaque région : axe sterno-pubien, axe brachial antérieur, axe crural antérieur, etc. Je dirai quelques mots de ce dernier procédé dans l'étude de l'application de la méthode. Je l'indique seulement ici comme étant le seul qui me paraisse applicable à tous les cas.

Il a en outre, comme on le verra, l'avantage de donner la notion exacte de la taille et de la corpulence du sujet, et de permettre de faire de la radiographie comparée.

Quoi qu'il en soit du mode de définition, notre méthode est ainsi complète. Je la résume :

1° *Choisissez votre plan d'examen (autant que possible le plan frontal ou le plan sagittal), et placez votre sujet de telle sorte que ce plan soit parallèle à la plaque sensible ;*

2° *Choisissez votre incidence et, autant que possible, faites qu'elle tombe normalement sur la plaque au milieu du champ intéressant. — Marquez le pied de ce rayon normal sur la plaque. Marquez aussi sur la peau son point d'incidence, que vous définirez ;*

3° *Indiquez la distance du centre de l'anticathode à la plaque sensible.*

Une formule qui résulte point par point des règles ci-dessus accompagnera chaque cliché. Par exemple la suivante :

Position.	frontale. sagittale. diverse (par exception — l'expliquer).	
Incidence normale . .	antérieure postérieure	pour les positions frontales.
	droite gauche	pour les positions sagittales.
	diverse par exception.	
Sur le point de la plaque ×	Indiquer le signe du cliché ou le moyen de le trouver.	
Sur le point du corps.	Indiquer le repère anatomique ou définir ce point par ses coordonnées sur l'axe de la région.	
Distance de l'ampoule :	Indiquer la hauteur du cône d'émission (1).	

Exceptions à ces règles fondamentales. — Je le répète, il est permis de déroger à ces règles s'il y a des indications spéciales à suivre. En notant les dérogations dans la formule modifiée, l'image restera tout aussi claire.

Ainsi, pour radiographier le contour droit de la crosse aortique, on peut avoir intérêt à faire tomber un rayon oblique sur le milieu de sa courbure, centre de la région intéressante. Dans le cas où l'obliquité est peu prononcée, on peut évidemment définir le cliché par le rayon normal tombant excentriquement sur le plan d'examen et la plaque. Mais la méthode permet de définir aussi des incidences plus obliques où la normale tombe hors du corps et de la plaque (cas fréquent, si l'on place le tube loin du sujet).

Pour la radiographie obstétricale du bassin, ainsi que le fera remarquer plus loin M. Fabre, le plan d'examen intéressant, le plan du détroit supérieur ne peut être placé parallèlement à la plaque, et l'incidence normale sur le plan d'examen est oblique sur la plaque.

M. Maunoury considère que l'emploi des incidences obliques est indispensable. Il les emploie dans la coxa vara, par exemple, où il place le membre en abduction et flexion, et, par une incidence convenable, fait ainsi voir nettement l'angle de déclinaison. Et souvent son rayon normal tombe en dehors du sujet et de la plaque.

Je n'insiste pas ici sur le *modus faciendi* que nous allons voir dans l'étude de l'application de cette méthode. Je devais seulement signaler ces dérogations aux principes fondamentaux de la radiographie, pour bien montrer qu'il ne s'agit pas là de règles tyranniques : chacun doit rester libre d'agir comme bon lui semble, seulement il doit savoir à quelles conditions il opé-

(1) Cette formule, acceptée par la plupart de nos collaborateurs, peut être simplifiée. Ainsi MM. Imbert et Bertin-Sans proposent de marquer sur le cliché une lettre pour chaque mot. Leur formule, peu différente de celle-ci, se résume ainsi en quelques lettres. Il suffirait de s'entendre sur les lettres conventionnelles pour que ce procédé soit compréhensible pour tout le monde.

rera comme tout le monde, comment il sera compris de tout le monde, et comment, s'il agit autrement, il pourra, en quelques mots, indiquer son mode opératoire.

Voyons à présent comment nous allons appliquer ces principes.

§ 3. — Application de la méthode radiographique.

A. — Examen radioscopique préalable

Lorsque nous ne sommes pas liés par un mode opératoire fixé d'avance, nous devons toujours examiner notre sujet à l'écran avant de le radiographier. C'est le seul moyen de trouver le plan d'examen de choix et l'incidence de choix, c'est-à-dire la position du sujet et celle du tube favorables au résultat cherché. M. Béclère (dans ses leçons de l'hôpital Saint-Antoine) recommande cet examen préalable comme d'urgence dans tous les cas.

L'examen doit se faire sur la table radiologique. C'est se placer dans de mauvaises conditions que de faire un examen vertical pour radiographier ultérieurement le malade couché.

Aussi est-il nécessaire, si l'on veut opérer convenablement, d'avoir un lit qui permette de substituer la plaque à l'écran sans déplacer le sujet, et de faire commodément toutes les opérations nécessaires à la recherche de l'incidence de choix (V. p. 504 et fig. 244 et 245).

L'examen radioscopique préalable nécessite, le plus ordinairement, la connaissance du rayon normal (V. p. 506).

B. — Mise en place du sujet

Lorsque l'examen radioscopique nous a indiqué le plan d'examen préférable (ordinairement plan frontal ou plan sagittal), ou bien lorsque d'office nous devons opérer dans l'un de ces plans (pour prendre une épreuve de contrôle, par exemple), nous devons assurer la position de notre malade de telle sorte que le plan d'examen choisi soit parallèle à la plaque.

Certaines questions de pratique sont utiles à connaître pour que l'opération se fasse dans les meilleures conditions possibles.

Je ne dirai qu'un mot ici des positions à donner à chaque partie du corps : cette étude trouvera mieux sa place dans la partie clinique de l'ouvrage.

1° **Radiographie du tronc.** — Elle se fait presque toujours en *position frontale.* Holzknecht (1) cependant et, avec lui, quelques autres auteurs ont employé la radiographie *sagittale.* Lorsqu'on fait la radiographie frontale, il

(1) V. Holzknecht, *Archiv. und atlas der norm. und patholog. Anatomie in typische Röntgenbildern,* 1901.

est bon de s'assurer que le sujet est bien placé, en vérifiant si la ligne médio-rachidienne et la ligne médiosternale se trouvent sur le trajet d'un même rayon normal au plan du lit. Pour opérer dans la position de Tremdelembourg, il est utile d'avoir un plan incliné s'adaptant au lit ordinaire.

2° **Radiographie des membres.**— Pour les membres, voici les positions qui nous ont paru le plus favorables.

Membres supérieurs. — *Position frontale en supination.* — On met le sujet dans le décubitus dorsal. Le bras repose sur le lit d'opération par sa face postérieure. L'angle que fait le bras avec le corps a peu d'importance; néanmoins, il vaut mieux indiquer cet angle et, quand on le peut, toujours opérer avec le même écartement.

Position sagittale en appui cubital. — Ici le malade est assis, le haut du corps à peu près vertical, la table d'appui pour le bras à hauteur de l'aisselle. Le bras, l'avant-bras et la main reposent sur la table par leur face interne ou bord cubital, le bras étant, bien entendu, en abduction sur le corps à angle droit.

L'avant-bras est en extension sur le bras, la main en extension sur l'avant-bras. La main est au besoin maintenue par une équerre fixée à la table, ou par un aide; s'il est utile de fléchir l'avant-bras sur le bras, la position ne change pas, étant donné que c'est toujours le bord cubital qui repose sur le plan d'appui.

Position sagittale du bras avec la main en pronation.— Cette modification à la deuxième position est justifiée par la commodité qu'il y a à prendre la main sur sa face palmaire.

Le bras repose sur son bord cubital. L'avant-bras, au lieu de se présenter dans le plan sagittal, se présente dans un plan qui devient de plus en plus frontal à mesure qu'on se rapproche de la main.

Membres inférieurs. — *Position frontale.*— Le sujet est couché sur le lit d'opération en décubitus dorsal, l'axe du pied maintenu dans le plan frontal, le pied en demi-extension.

Cette position est non seulement la position d'élection pour la jambe, mais aussi pour le pied : le pied en demi-extension se présente mieux à l'ampoule qu'en équerre sur la jambe. Seulement la plaque sera placée sur un plan incliné dont l'angle est déterminé au besoin (45° ordinairement).

Position sagittale en appui tibial.— On peut placer le sujet sur le côté, le membre à radiographier reposant sur le lit par la face externe. L'incidence est alors interne, quand l'ampoule est dans la position habituelle (ampoule en dessus).

Cette position présente quelques inconvénients, surtout au point de vue de la stabilité du sujet, qui doit fléchir l'autre jambe, tout en gardant son point d'appui sur la première.

Aussi préférons-nous placer le sujet latéralement, sur le côté sain. Une tablette, reposant sur quatre pieds à hauteur variable, est introduite entre les deux membres. On soulève progressivement les quatre pieds, jusqu'à ce

que le membre à radiographier repose franchement sur elle. La plaque est mise sur la tablette. L'ampoule, dans la position « ampoule en dessus », irradie le membre par sa face externe. Ce choix n'a, d'ailleurs, rien d'absolu. Lorsque nous devons faire un examen radioscopique préalable, il est plus facile d'employer la première méthode, qui permet l'emploi du support-élévateur pour la plaque.

Si l'on veut prendre le membre « ampoule en dessous », il suffit de mettre le membre sain en flexion complète, hors des entrepieds, et de supprimer quelques planches au plateau du lit, pour donner plus de transparence.

Les positions le plus usitées pour le cou, la tête, le bassin, seront étudiées aux chapitres spéciaux qui traitent de ces régions.

C. — Mise en place du tube

1° *Définition de la direction d'un rayon.*

Deux cas peuvent se présenter :

1er *cas.* — L'examen radioscopique préalable nous a indiqué l'incidence de choix. En ce cas, nous avons à définir la position du tube par rapport au corps et à la plaque.

2e *cas.* — Nous devons d'office placer le tube dans une position donnée, définie d'avance ; par exemple, « sur la normale passant par le milieu du bord supérieur de la rotule en position frontale ».

C'est l'inverse du cas précédent.

Nous aurons donc soit à définir la position du tube, soit à placer le tube suivant les indications données.

Toutes les fois qu'on le peut, on se sert du rayon normal pour la définition, et c'est presque toujours l'incidence normale qui figure dans les formules.

Dans le premier cas, il s'agit d'abaisser une perpendiculaire du centre de l'anticathode sur la plaque, et de définir le point incident du corps et celui de la plaque (pied de la normale).

Dans le deuxième cas il faut élever, au contraire, une perpendiculaire à la plaque passant par un point donné du corps, et amener le centre de l'anticathode sur le trajet de cette normale.

On doit donc, avant tout, savoir déterminer la normale à la plaque passant par le centre de l'anticathode.

Le procédé le plus répandu, malgré son peu de précision, est le procédé du fil à plomb.

1° **Procédé du fil à plomb.** — Tout le monde connaît le procédé du fil à plomb, qui consiste à mettre approximativement le fil à plomb dans la direction du sommet du cône d'émission (habituellement le centre de l'anticathode dans les tubes bi-anodiques), la pointe étant dirigée sur le point incident.

Lorsque l'on veut centrer l'ampoule sous-jacente au malade sur un point situé sur la face d'émergence, le fil à plomb peut être employé, ainsi que le fait Williams (procédé indirect du fil à plomb). Une sorte de potence en ⅂ embrasse le corps du sujet, un repère supérieur se trouve sur le prolongement de l'axe du fil à plomb, qui tombe verticalement en dessous du sujet, attaché à l'extrémité de la branche inférieure de la potence (1).

D'une façon générale, on peut dire que le procédé du fil à plomb n'est qu'approximatif; puis, il a le défaut d'être inapplicable lorsque le plan d'appui n'est pas horizontal, comme cela a lieu dans la radiographie des pieds ou dans la radiographie sur lit et sur table inclinés (2).

Si, par exception, on doit recourir aux incidences obliques, le fil à plomb ne peut non plus être employé.

2° **Procédé de M. Bertin-Sans pour marquer sur la plaque le pied du rayon normal.** — M. H. Bertin-Sans a décrit, dans les *Archives d'électricité médicale*, trois petits appareils qui permettent de repérer très facilement sur un cliché, et avec une exactitude suffisante pour la pratique courante, le point d'incidence normale.

Le premier est constitué par une tige métallique opaque aux rayons X, fixée au centre d'une petite rondelle de bois transparente pour les mêmes rayons. La rondelle est supportée par trois pieds assez lourds terminés en pointe; la tige, qui a 10 centimètres de long et 2 à 3 millimètres de diamètre, doit être normale au plan d'appui des trois pieds, et son extrémité inférieure doit arriver à peu près au niveau de ce plan d'appui. Pour repérer sur la plaque le point d'incidence normale, il suffit de placer sur cette plaque, pendant la pose même, deux petits appareils identiques à celui que nous venons de décrire, en les disposant de telle sorte que l'angle dièdre des deux plans définis par chacune des tiges et le foyer d'émission des rayons X soit voisin de l'angle droit. Chaque tige étant normale à la plaque, leurs

(1) Williams, *The Rœntgen Rays.* Indirect plumb line, p. 69.

(2) Dans certains cas pourtant on peut tourner la difficulté; voici comment:

Supposons que le lit soit incliné de 30° dans le sens de la longueur. Nous tendrons un fil directeur entre l'ampoule et le point incident. Ce fil directeur supportera le long de son trajet un fil à plomb léger. L'ensemble des deux fils sera placé approximativement dans le plan longitudinal, et l'angle du fil à plomb avec le fil directeur sera de 30° (mesuré avec le rapporteur vulgaire).

Inutile d'insister sur le manque de précision de ce procédé, qui ajoute à l'imperfection de centrage du fil directeur celle de l'orientation défectueuse du système dans le plan longitudinal.

Il y a un deuxième procédé de tourner la difficulté : c'est le procédé de glissement des cadres avec emploi préalable du fil à plomb. On fait l'incidence verticale sur le point choisi en plaçant l'ampoule à une distance égale à d^i sec. ω (d^i = distance proposée définitive, ω = angle d'inclinaison), et on fait glisser longitudinalement les cadres porte-ampoule d'une distance égale à d^i tg ω. Si l'inclinaison a lieu dans le sens de la longueur et dans celui de la largeur, on y arrive aussi, mais par des calculs trigonométriques qu'il n'y a pas lieu d'expliquer ici.

Remarquons que ces procédés deviennent inapplicables si le plan d'appui est vertical.

ombres seront les traces des plans d'incidence normaux renfermant chacune d'elle, et l'intersection de leur prolongement indiquera le pied du rayon normal.

Le second appareil est représenté sur la figure 253 ; A, B, C sont trois lames rectangulaires de cuivre perpendiculaires entre elles et percées chacune d'une fenêtre ; M représente un miroir ; *b*, *b'*, deux fils de soie parallèles ; *cc'*, un troisième fil de soie ; *aa'*, un fil métallique ; *t*, *t'*, deux tiges métalliques parallèles au plan d'appui de l'appareil et distantes de 10 centimètres de ce plan. Les deux fils *aa'*, *cc'* définissent un plan, *plan de visée* de l'appareil, qui passe par l'interligne des deux fils *b*, *b'*, et qui est perpendiculaire au plan d'appui de l'appareil. Pour repérer le point incident normal on dis-

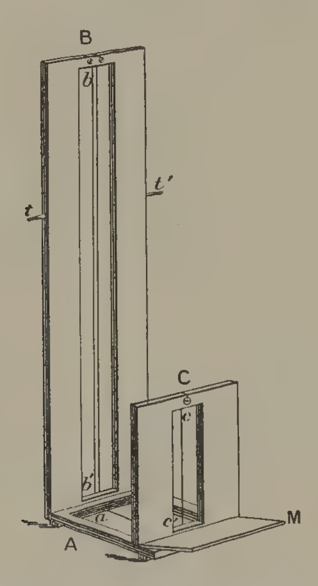


FIG. 253. — Appareil Bertin-Sans pour repérer, sur les clichés radiographiques, la position de la source de rayons X.

pose deux appareils ainsi construits sur la plaque près de ses bords et, en regardant dans le miroir M, on oriente chaque appareil de façon que son plan de visée passe par le centre de l'anticathode, condition qui se trouve réalisée lorsqu'on aperçoit dans le miroir l'image du fil *cc'* comprise entre les images des deux fils *b*, *b'*, et passant par le centre de l'image de l'anticathode. Il faut d'ailleurs, comme pour le modèle précédent, avoir soin de disposer les deux appareils en des points tels de la plaque que l'angle dièdre de leurs deux plans de visée, lorsqu'ils sont orientés, soit voisin de 90°. Lorsque les appareils ont été convenablement orientés, leurs plans de visée sont des plans incidents normaux ; la trace de chaque plan de visée est marquée sur le cliché par l'ombre du fil métallique *aa'*, et l'intersection de ces deux ombres prolongées fait connaître le point d'incidence normale cherché.

Ces deux types d'appareils permettent de repérer le point d'incidence normale alors même que la plaque n'est pas horizontale et que le point cherché est en dehors de la plaque ; mais il est nécessaire, pour que leurs indications soient exactes, que leurs plans d'appui coïncident bien avec le plan de la plaque. Cette condition est, en général, satisfaite lorsqu'on se sert de châssis pour mettre la plaque à l'abri de la lumière ; elle est un peu plus délicate à réaliser lorsqu'on enveloppe simplement les plaques, comme le font bon nombre de radiographes, dans du papier noir aiguille. L'avantage du deuxième appareil sur le premier consiste précisément en ce qu'il permet de contrôler dans une certaine mesure l'exactitude des indications qu'il fournit ; mais sa manipulation est, en revanche, un peu moins simple.

Lorsqu'il s'agit de repérer le point d'incidence normale sur une plaque horizontale, ce qui est le cas le plus fréquent de la technique radiographique courante, on peut éviter la cause d'erreur provenant d'un défaut de coïncidence entre le plan d'appui des appareils et le plan de la plaque, en se servant du troisième modèle récemment décrit par M. H. Bertin-Sans, modèle dont l'emploi n'exige pour ainsi dire aucune précaution et n'entraîne aucune complication dans la technique.

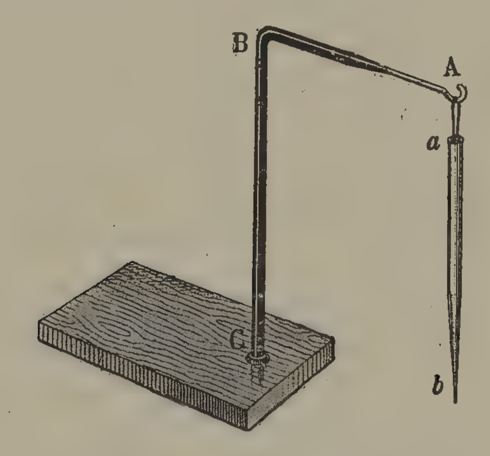


Fig. 254. — Appareil de Bertin-Sans (nouveau modèle).

Ce nouveau modèle est constitué par une tige d'acier bien rectiligne, de 10 à 12 centimètres de long et de 2 à 3 millimètres de diamètre, effilée à son extrémité inférieure et suspendue par son extrémité supérieure à l'extrémité d'une potence métallique fixée elle-même sur le bord d'un socle assez lourd pour que l'appareil soit bien stable. La tige d'acier, suspendue à la potence par un fil flexible, constitue un véritable fil à plomb et reste toujours verticale, quel que soit le plan d'appui du socle. Il suffit de disposer deux de ces petits appareils sur la table même, à coté de la plaque, de façon que les tiges d'acier soient au-dessus de points de la plaque situés à une distance suffisante des bords, et que les deux plans passant par les tiges et

le foyer d'émission des rayons X forment un angle dièdre à peu près égal à un angle droit; l'ombre de chaque tige sur la plaque donne toujours, si la plaque est horizontale, la trace d'un plan normal à la plaque passant par le foyer d'émission, et l'intersection des directions des ombres des deux tiges sur le cliché fait alors connaître le point d'incidence normale cherché.

On pourrait à la rigueur se servir de ce dernier appareil de Bertin-Sans sur un plan quelconque, en fixant la tige d'acier à demeure, au bout de sa potence, perpendiculairement au plan du socle.

3° **Procédés radioscopiques.** — Je réunis sous ce titre plusieurs procédés qui ont ceci de commun, qu'ils consistent à déterminer, par l'examen radioscopique préalable, la direction du rayon normal ou d'un rayon oblique et de marquer cette direction par un repère qui laissera sa trace sur le cliché.

Si nous voulons savoir quel point d'un plan est irradié normalement par une ampoule de Crookes placée au-dessus de lui, il est un procédé bien simple : fixons une tige métallique perpendiculairement sur une planchette à faces bien parallèles et recouverte de platino-cyanure de baryum.

Promenons cette planchette sur le plan donné, jusqu'à ce que la tige métallique n'ait plus d'ombre ou, du moins, que son ombre projetée se confonde avec sa base, de telle sorte qu'on ne voit sur le disque fluorescent qu'un point noir; ce point noir sera le point irradié normalement par l'ampoule.

Cet appareil si simple est celui qu'a réalisé M. Virgilio Machado, en lui attribuant encore un autre usage, la mesure de la hauteur du cône d'émission, autrement dit, la mesure de la distance de l'ampoule (centre de l'anticathode) au plan de projection.

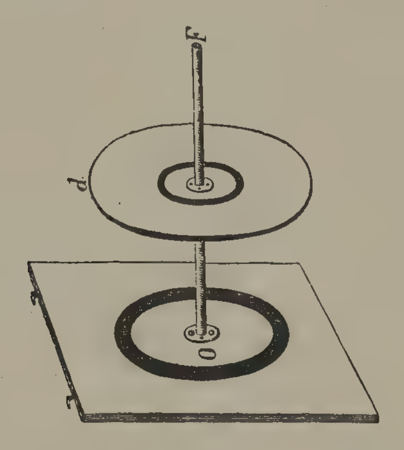


Fig. 255. — Appareil de V. Machado.

a) Appareil de Virgilio Machado. — Voici cet appareil : Le socle est constitué par une plaque rectangulaire en bois. La tige est graduée en millimètres. Un disque en bois glisse le long de la tige, parallèlement au socle.

Les deux anneaux en plomb que l'on voit figurer sur le socle et sur le disque permettent de déterminer la hauteur du cône d'émission lorsque leur ombre se confond (fig. 255).

b) Radioguide Radiguet. — Le radioguide Radiguet, l'un des premiers instruments construits pour déterminer la direction des rayons X dans

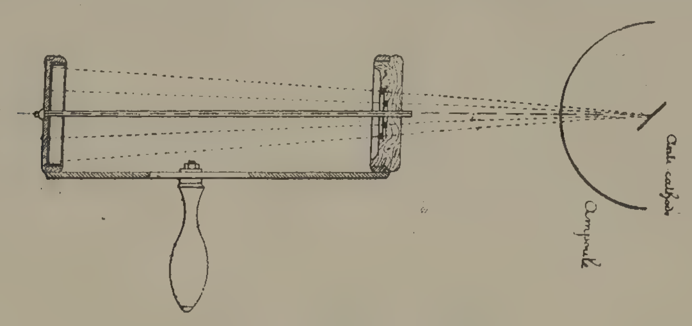


Fig. 256. — Radioguide Radiguet.

l'espace, se compose essentiellement d'un style creux perpendiculaire à un disque de platino-cyanure placé à une de ses extrémités et à un second disque situé à l'autre extrémité et présentant des anneaux opaques concentriques. Quand l'ombre du style est ponctiforme, et celles des anneaux concentriques autour de ce point, l'axe du style marque la direction du rayon frappant le centre des disques, et un fil passant par cet axe indique tous les points de l'espace irradié par le rayon considéré.

L'appareil de Virgilio Machado, commode quand il s'agit de définir le point d'incidence sur un plan et de mesurer la hauteur de l'ampoule, est insuffisant pour déterminer sur le corps et sur la plaque le point normal d'incidence. En outre, il ne permet pas de définir d'incidence oblique. Le radioguide Radiguet indique bien la direction d'un rayon dans l'espace, mais ne dit pas si cette direction est une normale ou une oblique au plan de projection.

C'est pour répondre à ces besoins que j'ai proposé le radiogoniomètre, appareil qui présente une certaine analogie avec celui de Machado, parce qu'il se compose d'un style monté sur un socle, mais qui en diffère, en premier lieu, parce que le style peut être incliné, et que son inclinaison est mesurable; en second lieu, parce que le socle est monté de telle façon qu'il puisse se promener librement au-dessus du malade tout en restant parallèle au plan de projection; enfin, parce que son style traverse le socle pour aller marquer sur la peau le point incident correspondant au rayon donné. Le radiogoniomètre se rapproche aussi du radioguide : c'est, en somme, un radioguide monté sur un socle parallèle au plan de la plaque et pouvant prendre sur ce socle une inclinaison quelconque mesurable.

c) Radiogoniomètre. — Le radiogoniomètre se compose d'un socle formé d'un disque en cuivre monté sur un support à glissière, de telle sorte que le

socle, dans tous ses mouvements, reste parallèle au plan de la plaque radiographique.

L'ouverture centrale du socle sert, d'une part, à orienter l'appareil quand il s'agit de définir des incidences obliques et, d'autre part, à supporter un disque fluorescent sur ses deux faces.

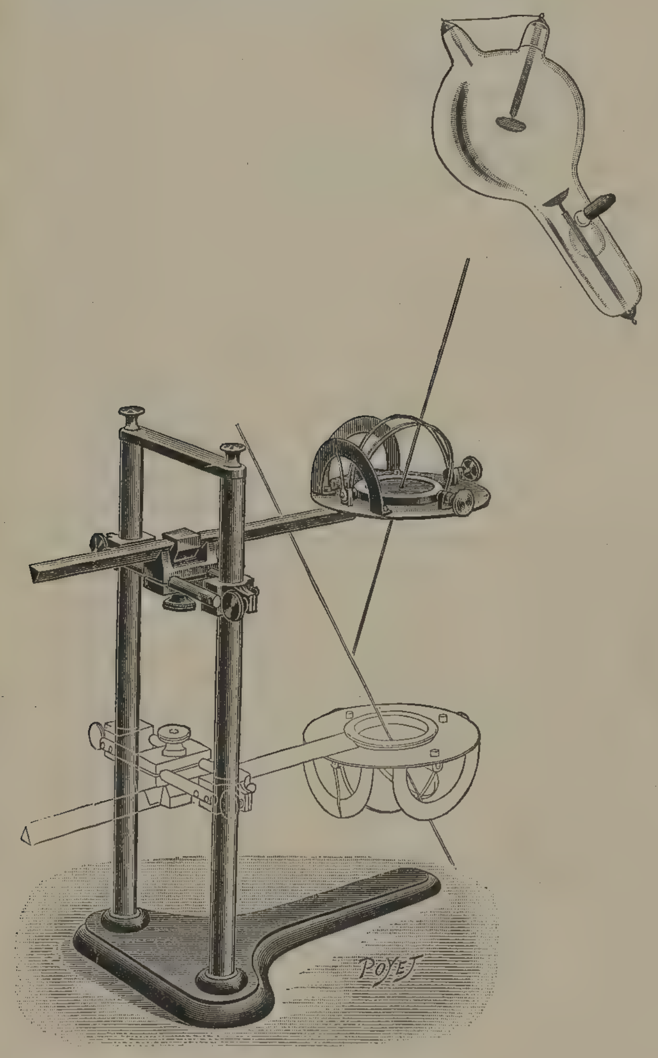


FIG. 257. — Radiogoniomètre.

Au centre de cette ouverture est un pivot pour la tige métallique, ou style. Ce style, mobile en tous sens, peut, en outre, glisser dans son pivot pour prendre contact avec la peau du sujet. Dans ses différentes inclinaisons sur le socle, il entraîne deux arcs métalliques demi-circonférentiels, mobiles autour de leurs diamètres extrêmes, d'ailleurs perpendiculaires l'un sur l'autre.

L'inclinaison de chacun de ces arcs se lit sur deux goniomètres. Lorsque le style est normal au socle, les deux goniomètres marquent o, et c'est la position dans laquelle on immobilise généralement l'appareil, car on emploie surtout, nous le savons, les incidences normales.

Emploi du radiogoniomètre pour les cas ordinaires, c'est-à-dire pour les incidences normales. — Un malade est couché sur le lit, devant nous ; notre tube est en position ; nous voulons marquer sur la peau le point incident normal. Nous mettons nos goniomètres à o ; nous amenons le socle au-dessus de la région intéressante, et nous mettons l'ampoule en activité. Nous déplaçons ensuite le socle jusqu'à ce que le centre de la croisée d'arcs se projette sur le centre du disque de platino-cyanure, autrement dit, jusqu'à ce que le style ne donne qu'un point d'ombre, et nous marquons sur la peau le point correspondant à l'extrémité du style.

Inversement, si l'on nous donne le point d'incidence normale, et qu'il faille placer l'ampoule, nous déplaçons le socle de telle sorte que l'extrémité du style normal arrive au contact de ce point et, l'ampoule étant en activité, nous la déplaçons au-dessus du patient jusqu'à ce que le style n'ait plus qu'un point d'ombre.

Emploi du radiogoniomètre pour les incidences obliques. — L'emploi de l'appareil pour les incidences obliques est aussi simple :

L'obliquité peut se déterminer de deux façons : soit en indiquant l'obliquité d'un rayon dans un azimut donné (procédé du théodolite), soit en indiquant l'obliquité du plan longitudinal renfermant le rayon incident et celle du plan transversal renfermant ce même rayon. C'est cette deuxième méthode que nous employons ici. Nous orientons le radiogoniomètre de telle sorte que l'axe de l'un des arcs soit longitudinal et parallèle à l'axe de la région intéressante (axe crural, brachial, etc.), et nous définissons ainsi l'incidence par deux angles : l'angle longitudinal d'incidence, qui est céphalique ou podalique, et l'angle transversal d'incidence, qui est droit ou gauche (position frontale), antérieur ou postérieur (position sagittale).

Le mode opératoire est simple :

On nous donne une incidence d'élection oblique à définir ?

Nous mettons l'extrémité du style sur le point incident choisi ; nous laissons les arcs libres, et nous déplaçons l'appareil jusqu'à ce que le centre de croisement se projette sur le centre de l'écran. Il suffit alors de lire les deux angles des goniomètres.

Nous demande-t-on, au contraire, de réaliser une incidence oblique proposée ?

Nous inclinons nos goniomètres de la quantité indiquée ; nous les fixons ; nous amenons l'extrémité du style sur le point incident, et il n'y a plus qu'à faire voyager notre ampoule jusqu'à ce que le croisement des arcs se projette sur le centre de l'écran.

L'emploi des incidences obliques sur le plan de projection, indispensable dans beaucoup de cas, et notamment en obstétrique, ne complique

complique donc pas du tout la méthode, pas plus que la formule qui en résulte.

Si l'on adopte le procédé radiogoniométrique (1), on n'aura qu'à modifier ainsi la formule pour les incidences obliques :

Position	frontale.. . . . . sagittale.. . . . . diverses..		comme ci-dessus.
Incidence oblique	antérieure / postérieure	position frontale. . .	id.
	droite / gauche	position sagittale.	
	diverses.		

Obliquité : angle longitudinal { podalique . . . . n^d ; céphalique. . . . . n^d }

— angle transversal { droit . . . . n^d ; gauche . . . n^d } (position frontale).

— — { antérieur. . n^d ; postérieur . n^d } (position sagittale).

Sur le point incident du corps.. . . . . (l'indiquer).
— de la plaque. . . . . (point marqué).
Distance de l'ampoule — hauteur sur le plan de projection.
Distance du point incident du corps ou d'un point marqué sur la plaque.

d) Indicateurs d'incidence. — L'emploi direct du radiogoniomètre pour les cas ordinaires est moins pratique et moins simple que celui de l'indicateur d'incidence que j'ai décrit page 506, figure 247. — Cet indicateur donne une précision suffisante pour la radiographie courante, et habituellement je me sers du radiogoniomètre seulement pour régler l'indicateur une fois pour toutes sur le trajet du rayon normal ou d'un rayon oblique déterminé avant l'opération. Voici alors en quoi consiste l'emploi de l'indicateur :

Voulons-nous nous servir du *rayon normal* ? Nous plaçons notre indicateur sur le trajet du rayon normal au plan de projection. Pour cela, nous appliquerons sur le lit soit le radiogoniomètre ayant ses aiguilles à o, soit un indicateur quelconque de rayon normal, tel qu'un radioguide monté normalement sur un pied, et lorsque le style donnera un point d'ombre, nous réglerons la position de la croisée de fils de la figure 247 de manière que l'ombre de son centre se confonde avec ce point d'ombre.

Voilà notre indicateur réglé une fois pour toutes. Nous plaçons notre sujet, nous faisons tous les examens préalables nécessaires, puis, lorsque nous voulons déterminer sur la plaque et sur le corps le point d'incidence

(1) Si l'on n'adopte pas ce procédé et qu'on prenne celui du théodolite, la formule ne se compliquera pas non plus. Il suffira alors d'indiquer l'angle d'obliquité vraie du rayon considéré et son azimut, c'est-à-dire l'angle de son plan vertical avec un vertical d'origine, qui serait le plan vertical longitudinal.

normale, il ne nous reste plus qu'à marquer sur le corps le point d'entrée ou de sortie du rayon normal, c'est-à-dire les deux points où se projette le centre de croix ; on le fait soit avec l'écran ordinaire tenu du côté opposé à l'ampoule, soit avec un petit disque fluorescent percé en son centre, ce qui est plus pratique pour les incidences supérieures. Dans le premier cas, on marque avec un crayon dermographique, muni à sa pointe d'un index opaque, le point d'incidence ou d'émergence ; dans le deuxième cas, il suffit de marquer à travers l'orifice central (coïncidence avec le centre de croisée) un repère sur la peau.

Lorsque pour marquer le pied de la normale sur la plaque, on n'emploie pas le dispositif de Bertin-Sans, on peut du même coup conserver la trace du rayon normal, soit en laissant l'indicateur devant l'ampoule, ce qui donne une croisée peu gênante sur le cliché, soit mettre un index opaque sur le repère des téguments.

Voulons-nous nous servir d'un rayon *oblique*? Nous plaçons l'indicateur sur le trajet de ce rayon oblique, dont l'obliquité est définie une fois pour toutes et préalablement par le radiogoniomètre. Si, par exemple, nous voulons irradier le milieu de la clavicule droite par un rayon oblique de 15° dans le plan transversal à gauche, nous placerons le radiogoniomètre orienté convenablement en marquant 15° d'inclinaison transversale gauche ; nous amènerons le sommet du cône d'émission sur la direction du style réduit à un point d'ombre, et nous réglerons l'indicateur d'incidence de telle sorte que son centre se projette sur ce point d'ombre. L'indicateur se trouve ainsi réglé une fois pour toutes au début de l'expérience, et on opère alors comme dans le cas d'incidence normale.

2° *Définition du point d'incidence sur le corps et la plaque.*

Quel que soit le procédé employé pour connaître sur la plaque et sur le corps le point incident, il reste à conserver la définition de ce point pour le joindre à l'épreuve radiographique. — Le cliché porte l'indication de l'incidence sur la plaque, mais il faut pour le point incident (ou émergent) des téguments y joindre une indication, une formule.

Nous avons dit, dans l'exposé de la méthode, que, toutes les fois qu'on le peut, on définit le point anatomique correspondant, mais que, dans la plupart des cas, les repères anatomiques manquant totalement, il faut avoir recours à un autre procédé de définition. Celui qui me paraît le plus pratique consiste à indiquer les coordonnées du point incident sur l'axe de la région.

Prenons un exemple : voici une incidence telle que le rayon normal tombe dans la région de la pointe du cœur. — Nous procéderons de la façon suivante : nous mesurerons la distance du point incident à l'axe sterno-pubien (ou axe réunissant le milieu de la fourchette sternale au milieu de la symphyse pubienne). Cette mesure se fait simplement en abaissant une

perpendiculaire du point incident sur l'axe. Puis nous mesurons, en second lieu, la longueur de la partie de notre axe sterno-pubien comprise entre le pied de la perpendiculaire et la fourchette sternale. La première distance est l'abscisse, la deuxième l'ordonnée.

Si nous disons : incidence normale sur le point du thorax : { ordonnée, 8, abscisse gauche, 5,

cela voudra dire que ce point est situé à 5 centimètres à gauche de l'axe sterno-pubien, et qu'il est dans la zone transversale du corps située à 8 centimètres du bord supérieur de la fourchette.

Pour pouvoir comparer les sujets entre eux et avoir à première vue une idée de leur taille et de leur corpulence, il suffit de placer en dénominateur, à côté de l'ordonnée, la longueur de l'axe de la région, et à côté de l'abscisse, la circonférence du corps ou du membre en ce point. La formule devient par exemple : { ordonnée, 8/52 ; abscisse, 5/70 (1).

3° *Distance de l'ampoule.*

On obtient avec une approximation suffisante la distance de l'ampoule en mesurant avec un mètre ordinaire la hauteur du centre de l'anticathode (visé à distance) au-dessus du plan de projection.

L'appareil de Virgilio Machado décrit ci-dessus, comme celui de Bertin-Sans, permettent d'avoir directement la hauteur du cône d'émission (2).

Lorsqu'on opère avec un lit bien conditionné, cette mesure se simplifie

(1) Je n'insiste pas sur cette méthode de définition du point incident. Je ne la signale que parce qu'elle peut rendre service, étant données les difficultés que l'on rencontre à chaque instant, faute de posséder des repères anatomiques suffisants. Je l'ai longuement développée ailleurs (*Radios. et Radiog. cliniq. de précision*). D'ailleurs, le choix des axes pour chaque région mériterait discussion si l'on adoptait cette méthode. — Pour le bras, je me sers de l'axe brachial antérieur, défini par l'articulation acromio-claviculaire, le milieu du pli du coude, le milieu du pli du poignet et l'extrémité du médius. Pour la jambe, je me sers de l'axe crural antérieur, défini par l'épine iliaque antérieure et supérieure, le milieu du bord inférieur de la rotule, le milieu du pli du cou-de-pied et l'extrémité du 3ᵉ orteil. — Enfin, pour la tête et le cou, j'emploie l'axe sterno-fronto-occipital, ou ligne partant du milieu de la fourchette sternale, passant par le milieu du menton, la glabelle, la suture métopique, la protubérance occipitale et finissant à la 7ᵉ cervicale. Cette ligne est divisée en quatre segments à partir de son point d'origine, ou fourchette sternale. L'axe sterno-hyoïdo-mentonnier ayant son origine à la fourchette, l'axe facial commençant à la pointe du menton et finissant à la glabelle, l'axe fronto-sagittal allant de la glabelle à la protubérance occipitale, et l'axe occipito-cervical allant de cette protubérance à l'apophyse de la 7ᵉ cervicale.

(2) Avec le premier appareil de Bertin-Sans, la hauteur H se déduit de la longueur l de l'une des tiges et de la distance d de l'extrémité la plus éloignée de cette ombre au point d'incidence normale. Avec le second, elle se déduit de la distance l de l'ombre de l'une des tiges t ou t' à l'ombre de la pointe du pied correspondant de l'appareil et de la distance d de l'ombre de la tige t ou t' considérée au point d'incidence normale. On a dans les deux cas : $H = \frac{l}{d} \times 0^m,10$.

beaucoup, car l'ampoule pouvant se promener, au-dessus du malade, parallèlement au plan de projection, il suffit de mesurer une fois pour toutes, avec une ampoule donnée, la hauteur constante que l'on désire employer. L'appareil de Virgilio Machado sera très utile dans ce cas. Williams décrit aussi une méthode simple. J'ai vu d'autres instruments analogues, et beaucoup de radiographes en emploient certainement de personnels, qu'ils n'ont jamais décrits (1).

Rappelons que l'on a demandé, comme distance constante, la distance de $0^{m},50$, que beaucoup d'auteurs trouvent insuffisante. Cette question a, d'ailleurs, été déjà étudiée dans le chapitre ci-dessus, consacré à la plaque radiographique.

§ 4. — De la méthode en radioscopie.

A. — Considérations générales

La méthode radioscopique, en principe, est la même que la méthode radiographique. Mais le plan de projection, l'écran, est essentiellement mobile. Il ne peut servir à repérer la position du corps et du tube, d'autant plus que,

(1) Pour cette mesure, j'ai employé un dispositif très simple, qui m'a donné de bons résultats, et qui indique la hauteur du cône d'émission en déterminant le côté d'un triangle rectangle formé par cette ligne.

La figure ci-dessous le fait comprendre mieux que toute description. On place

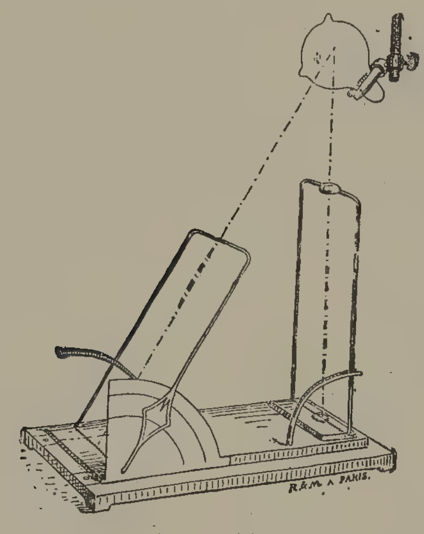


Figure 258.

l'appareil sous l'ampoule, de manière que la partie O du viseur fixe projette son ombre sur le centre d'un petit écran de platino-cyanure placé sur sa charnière, et on incline le second viseur jusqu'à ce que son petit côté mobile projette son ombre sur sa charnière également munie d'un petit écran fluorescent. Il suffit alors de lire la distance de l'ampoule sur le cadran.

l'examen se faisant, en général, en station verticale, il n'y a pas de plan d'appui du sujet, comme cela a lieu en radiographie.

Le plan d'examen du sujet ne peut suffire non plus à déterminer la normalité d'un rayon.

Aussi devons-nous changer de point de départ.

Nous considérerons un plan bien défini, celui du châssis porte-tube dans lequel se meut l'ampoule, et nous déterminerons le rayon normal à ce plan.

Toutes les fois que nous emploierons le mot rayon normal en radioscopie, nous saurons donc qu'il s'agit du rayon normal au plan du châssis-support où évolue le tube.

Dès lors, d'après les règles de la méthode générale, nous obtiendrons le minimum de déformation d'un organe ou d'une région, exploré sous un plan d'examen donné, en observant les mêmes principes, c'est-à-dire :

1° En plaçant le sujet de telle sorte que le plan d'examen choisi (ordinairement plan frontal) soit parallèle au châssis ;

2° En tenant l'écran fluorescent aussi parallèlement que possible à ce plan;

3° En amenant le rayon normal sur le milieu de la région intéressante.

B. — Application de la méthode

Nous allons voir à présent comment, pratiquement, nous allons réaliser ces trois desiderata.

Mais, auparavant, distinguons entre les diverses applications courantes de la radioscopie : en premier lieu, la radioscopie peut être employée pour explorer une région facile, une main, un membre, à la seule fin de voir si l'ossature en est normale, s'il n'y a pas de luxation des articulations, s'il n'y a pas de corps étrangers, etc. En un mot, elle peut être employée pour faire un examen « qualitatif », si je puis ainsi dire, par opposition à l'examen « quantitatif » de la région thoracique, qui aura pour but de comparer les tonalités d'ombres symétriques, et d'apprécier leur valeur. Eh bien, pour cet examen d'exploration d'une région au point de vue chirurgical, il n'y a de méthode que celle dictée par les circonstances : pour voir un interligne articulaire, on placera le tube dans le plan de l'interligne ; pour chercher un corps étranger, on traitera le sujet comme un solide géométrique, sur lequel on prendra des repères, sans avoir à s'occuper du plan d'examen, ni de la direction du rayon normal. La méthode ne reprendra ses droits que s'il y a lieu de définir une incidence de choix trouvée au cours de cette exploration pour recommencer un examen ultérieur comparatif ou pour faire une radiographie consécutive dans la même position. En pareil cas, on retombe dans l'application de la méthode radiographique.

En second lieu, et c'est le cas ordinaire en médecine, la radioscopie est employée pour éclairer le diagnostic des affections thoraciques et, en général, des affections d'une région quelconque, où l'on doit comparer les tona-

lités d'ombres de deux parties symétriques et explorer une zone de clarté anormale, comme une caverne, une induration, un épanchement, suivant certains principes.

Alors, il faut savoir comment on doit placer le sujet et comment on doit l'éclairer, ce qui nous entraîne, comme nous l'avons vu, à la connaissance précise du rayon normal.

Je répète que ce rayon normal est le rayon perpendiculaire au plan du châssis, et perpendiculaire au plan d'examen du sujet de par la position qu'on lui a donnée, comme il devra l'être approximativement aussi au plan de l'écran tenu à la main.

Toute la méthode radioscopique en médecine repose donc sur le maniement facile du rayon normal. Nous allons voir comment on l'emploie.

Détermination du rayon normal. — Pour avoir la direction du rayon normal en radioscopie, il suffit de placer un index opaque sur son trajet. Ce qu'il y a de plus pratique pour cela, c'est une croisée de fils solidaire de l'ampoule de Crookes, placée entre elle et le sujet, et dont le centre est précisément sur le trajet du rayon normal (1). C'est aussi l'opinion de M. Béclère, qui s'est, presque en même temps que moi, occupé, de son côté, de la même question (2). L'ombre des fils, en effet, se voit nettement à travers le corps ; et même, si la région éclairée normalement est trop obscure pour que l'on puisse distinguer le centre du croisement, la direction de l'ombre des fils dans les parties plus claires suffit pour nous indiquer la place du rayon normal dans les cas ordinaires, ce qui n'arriverait pas avec un index de toute autre forme.

Le réglage de la croisée de fils est facile. J'ai décrit plus haut le procédé que j'emploie et qui consiste à placer un radioguide normal sur la croix métallique. M. Béclère se sert, de son côté, d'une seconde croisée de fils, qui s'adapte devant la première, de manière que chaque couple de fils se trouve dans le même plan normal au châssis. Sous le fluoroscope, on déplace, au moyen de deux vis spéciales, les croisées de fils devant l'ampoule, jusqu'à ce que l'ombre des deux croisées se confonde. Alors les deux plans normaux sont des plans d'incidence normale, et leur intersection marque la direction du rayon normal.

Lorsque la chambre d'examen est séparée du laboratoire par un panneau d'aluminium, il devient plus indispensable que jamais de pouvoir à volonté faire apparaître le rayon normal. En effet, rien n'indique ici la place, même approximative, de l'ampoule. Souvent on la croit à hauteur des sommets, alors qu'elle est au niveau des bases ou de l'occiput ; à plus forte raison, ne peut-on savoir si elle est bien normalement placée en face d'une caverne à explorer, par exemple. J'ai employé en ce cas un indicateur composé de

(1) Guilleminot, *Arch. d'Élect. médicale*, 15 juillet et 15 novembre 1900. — *Congrès international d'élect. et de rad.*, 1900.

(2) Béclère, *Soc. électrologique et radiol.*, 19 juillet 1900. — *Congrès international d'élect. et rad.*, 1900. — *Arch. d'Élect. méd.*, août et octobre 1900.

deux demi-croix. Une poire de commande, analogue à une poire à air des obturateurs photographiques, permet, grâce à un tube de caoutchouc tra-

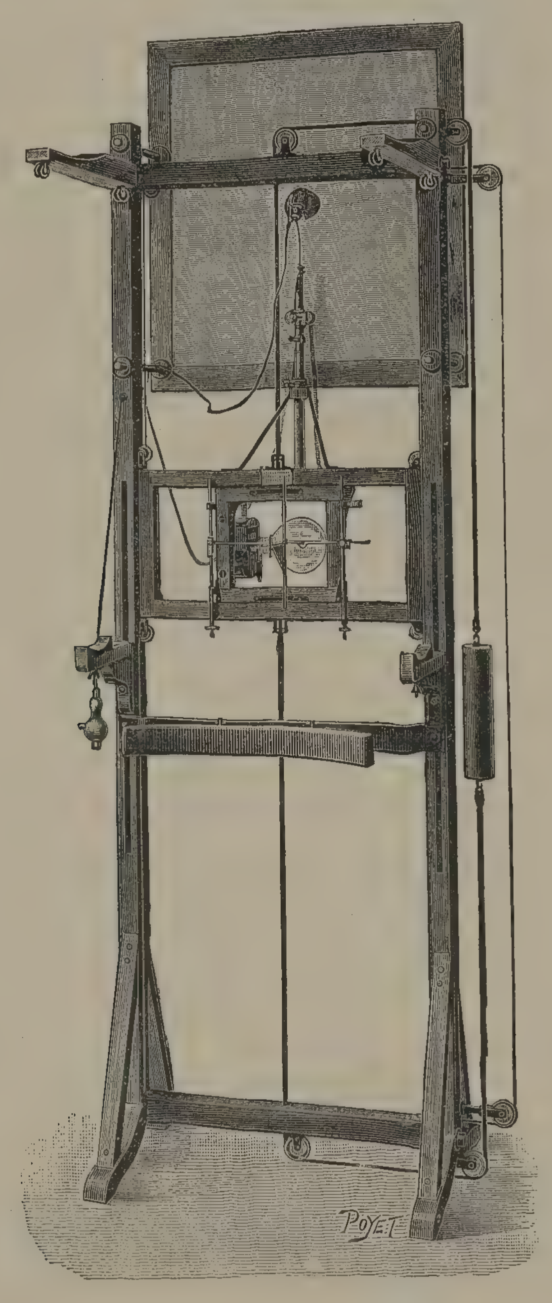


FIG. 259. — Châssis porte-tube vertical avec ses croisées de fils. On y voit aussi le pantographe pour les projections orthogonales. Pour éviter leur coïncement, tout en leur conservant une mobilité parfaite, on voit que les cadres glissent au moyen de galets à ressort qui assurent l'horizontalité parfaite de leur grand axe au cours des mouvements.

versant la paroi, de fermer la croix ou de laisser libre le champ d'éclairement. Le réglage se fait par une glissière verticale et un index d'arrêt placé entre les deux demi-croix (1).

Applications pratiques de l'emploi du rayon normal en radioscopie. — La connaissance du rayon normal nous permet d'examiner normalement une région et de comparer sous la même obliquité d'incidence deux régions symétriques ; elle nous permet, en second lieu, de faire des graphiques de projections orthogonales et d'opérer des mensurations précises sur ces projections.

Je n'insisterai pas sur le premier point. On sait que, pour examiner convenablement une région, il faut savoir comment elle est éclairée ; il faut, pour avoir le minimum de déformation, que le rayon normal au plan d'examen frappe le centre de cette région ; pour juger de la hauteur d'un épanchement, il faut que le rayon normal soit tangent à sa surface supérieure libre ; pour comparer la tonalité d'ombre des deux sommets, il faut que le rayon normal au plan frontal tombe sur le milieu du rachis, c'est-à-dire que les deux sommets soient éclairés sous la même incidence oblique. Tout cela devient facile quand on peut manier à volonté le rayon normal.

Mais la principale utilité du rayon normal, en radioscopie, réside surtout dans la possibilité de faire rapidement des graphiques de projections orthogonales, et c'est à l'exécution de ces tracés que je vais m'attacher à présent.

A. Graphiques orthogonaux. — Ayant en main un rayon normal que nous pouvons faire voyager toujours parallèlement à lui-même à travers les viscères, nous pouvons exécuter les graphiques de projections orthogonales de trois façons différentes :

1° En marquant sur la peau la projection des contours d'ombre irradiés normalement par étapes successives ;

2° En conservant la trace du chemin parcouru par l'ampoule elle-même, au fur et à mesure que le rayon normal circonscrit le contour d'ombre ;

3° En dessinant sur l'écran la projection des contours d'ombre irradiés normalement par étapes successives.

Je crois que les premiers graphiques orthogonaux ont été faits au cours de l'année 1900, à la fois par le professeur Moritz, de Munich, qui a opéré dans le décubitus par un procédé participant de la deuxième et de la troisième méthodes, et au laboratoire du professeur Bouchard, à la Charité, où nous avons opéré sur le sujet en station verticale, par la deuxième méthode.

Je vais passer en revue ces trois modes opératoires :

1° *Dessin sur la peau des contours d'ombre irradiés normalement.* — Plaçons le sujet en position frontale devant l'ampoule munie de son indicateur de rayon normal ; tenons l'écran d'une main, dans une position quelconque se rapprochant du plan frontal, et, de l'autre main, manions nos cordons de tirage pour amener le rayon normal tangent au contour d'ombre ; quand l'am-

(1) *Arch. d'Élect. méd.*, 15 juillet 1900.

poule est bien placée, de la même main qui nous a servi à la faire voyager, dessinons sur la peau 1 à 2 centimètres de contour, en deçà et au delà du point normal. Déplaçons de nouveau l'ampoule pour l'amener un peu plus loin à un autre point de contour, et dessinons encore 1 ou 2 centimètres de part et d'autre du nouveau point normal, et ainsi de suite. Le dessin se fait facilement avec un crayon dermographique muni d'un index métallique. On facilite l'opération en supportant l'écran par des courroies, comme le fait, par exemple, le docteur Béclère.

M. Williams regarde comme suffisamment approximatif pour le cœur le procédé qui consiste à centrer l'ampoule sur le bord droit, puis sur le bord gauche, au moyen du fil à plomb, et dessiner les contours droit et gauche dans chacune de ces positions respectives (1).

Behn, de Kiel (2), dont le procédé dérive de celui de Moritz, opère en station verticale. Son ampoule est fixe, c'est le sujet qui se déplace devant le rayon normal.

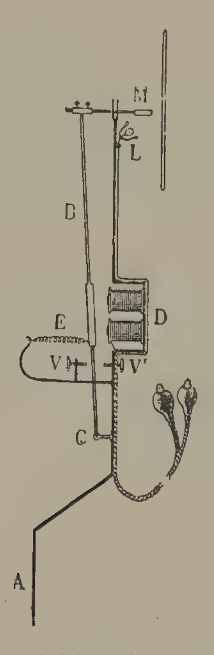


Fig. 260. — Schéma du pantographe.

A, support se fixant au petit cadre ; BC, levier mobile autour de l'axe C et muni d'une pièce de fer doux et d'un ressort antagoniste E ; M, style inscripteur ; V, V', vis limitant la course du levier ; D, électro-aimant ; L, lampe éclairant le style à volonté. Les deux poires électriques figurées en bas, à droite, commandent, l'une, l'électro-aimant, l'autre, la lampe.

2° *Graphique des positions successives occupées par l'ampoule au fur et à mesure que le rayon normal circonscrit le contour d'ombre.* — Ce procédé est le premier que nous ayons employé au laboratoire du professeur Bouchard.

(1) *The Röntgen's Rays.*
(2) Behn, *Fortsch. auf dem Gebiete d. Röntgenst.*, Band. IV, Heft 1, p. 44.

J'ai fixé au petit cadre porte-ampoule une sorte de pantographe dont le schéma est représenté figure 260. La tige fixe ADL est solidaire du petit cadre A, de telle sorte que son extrémité L décrit dans l'espace tous les mouvements que décrit le centre de l'anticathode. Elle porte à sa partie médiane un électro D′, qui attire le levier CBM, muni, en M, d'un style inscripteur. Les vis V,V′ règlent la course du levier; le ressort antagoniste E l'écarte de l'électro.

On voit à droite du schéma deux poires de commande ; l'une est destinée à actionner l'électro D, l'autre à allumer la lampe L, fonctionnant l'un et l'autre sur deux accumulateurs spéciaux.

En regard du style M est une feuille de bristol fixée sur un plan parallèle au châssis porte-tube.

Le mode opératoire est simple :

On place le malade devant le châssis, de manière que son plan frontal soit parallèle au plan du châssis. On assure sa position par les appuis-bras et l'appui de bassin. On vérifie ce parallélisme en amenant le rayon normal

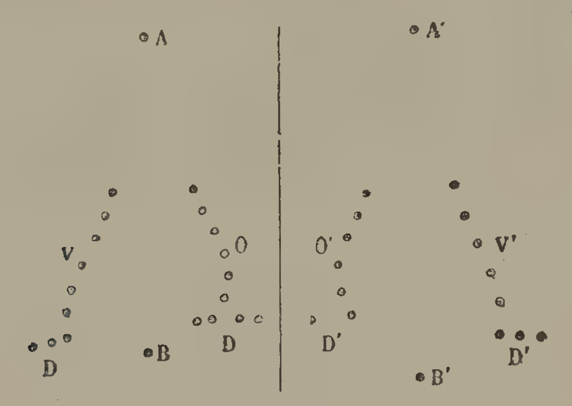


Fig. 261. — Tracé obtenu par le pantographe.

ABVO, vue postérieure; A′B′V′O′, vue antérieure; AA′, fourchette sternale VV′, bord gauche du cœur; OO′, bord droit; DD′, diaphragme.

sur le milieu du rachis et en vérifiant s'il passe par le milieu du sternum. Avant de commencer l'opération, on prend un point de repère fixe, marqué par un index métallique fixé au diachylon dans une région claire; on amène le rayon normal sur ce point, et on marque (au moyen de la poire de commande de l'électro-aimant) un point sur le bristol. Au cours de l'opération, si le sujet remue, on n'a qu'à ramener le rayon normal au même niveau et voir si le style éclairé par la lampe vient s'appliquer sur le repère marqué la première fois sur la feuille de bristol. L'opération du graphique consiste à promener le rayon normal le long de la surface de contour de l'organe étudié et, de place en place, à donner un coup de style inscripteur, grâce à la poire de commande de l'électro-aimant, qu'on tient toujours en main.

La figure 261 montre un tracé du cœur et du diaphragme obtenu par ce procédé. Le tracé pris avec incidence antérieure est juste l'inverse du tracé pris avec incidence postérieure.

Le procédé employé par le professeur Moritz (1) est le suivant :

Au-dessus du plan du lit se trouve un châssis parallèle dont la hauteur peut être modifiée à volonté. Ce châssis présente, à droite et à gauche, un rouleau parallèle aux bords longitudinaux du lit. Sur ces rouleaux reposent, perpendiculaires à eux, deux rouleaux transversaux qui supportent le cadre mobile. Le cadre mobile peut ainsi cheminer transversalement, grâce aux premiers rouleaux, et longitudinalement, grâce aux seconds. Il entraîne dans ses mouvements, d'une part, l'ampoule placée en dessous du lit et fixée par une branche à coulisse solidaire du cadre mobile, et, d'autre part, l'appareil inscripteur, composé d'un stylographe, dont les mouvements de haut en bas sont commandés par un levier. Le rayon normal est indiqué par un anneau de plomb solidaire du cadre mobile et cheminant entre le malade et l'écran. L'inscription se fait sur l'écran fixé parallèlement au plan du lit, ou sur une feuille de papier-calque appliqué sur lui. Ce qu'il y a de particulier dans cet

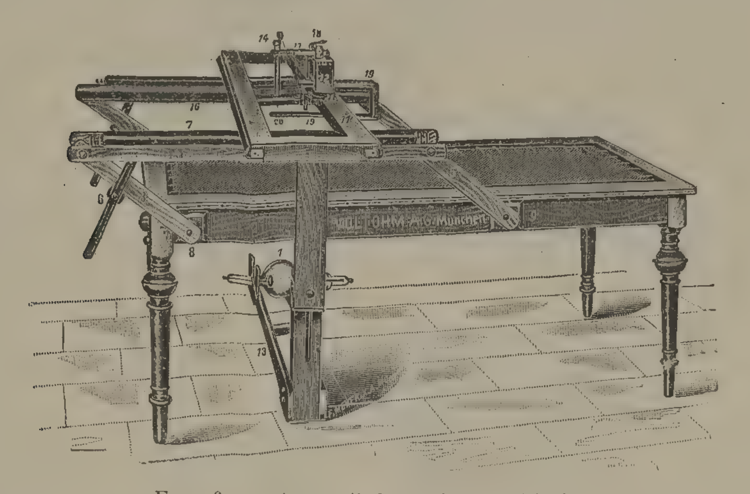


Fig. 262. — Appareil du professeur Moritz.

appareil, c'est que le style inscripteur se trouve sur le trajet même du rayon normal. Je n'ai jamais expérimenté cet appareil ; mais, d'une façon générale, il est à remarquer que les observations radioscopiques sont d'autant plus difficiles, que le champ d'éclairement est plus encombré d'ombres parasites ou d'objets empêchant l'examen. C'est pourquoi nous préférons faire exécuter le graphique loin du champ d'éclairement, sur un plan parallèle à l'écran. L'emploi de l'indicateur d'incidence, formé d'un anneau, nous a paru aussi moins pratique que la croisée de fils, qui peut être plus fine que l'anneau et qui se voit plus facilement, grâce au prolongement des branches dans des régions claires.

La maison Voltohm Electricitäts-Gesellschaft a construit un appareil où

(1) Moritz, Eine Methode um beim Röntgenverfahren aus dem Schattenbilde eines Gegenstandes dessen wahre Grösse zu ermitteln (Orthodiagraphie) und die exacte Bestimmung der Hertzgrösse nach diesem Verfahren. *Münch. med. Wochens.*, n° 29, 1900.

le déplacement de l'ampoule se fait non pas par glissement, comme dans le système que j'ai décrit ci-dessus, ni par le jeu de deux paires de rouleaux,

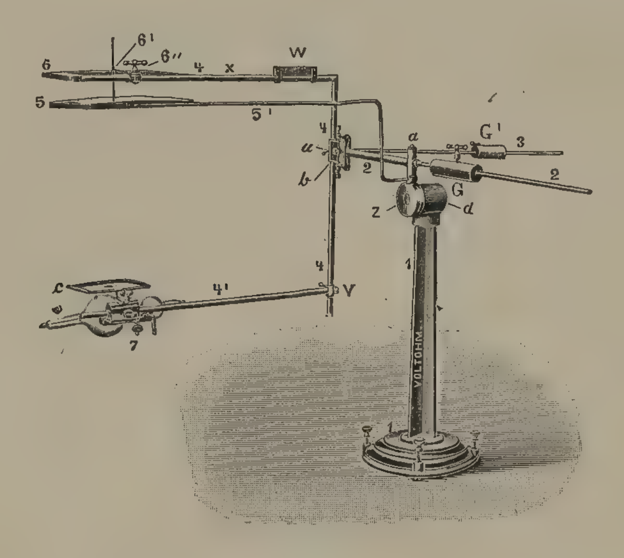


Figure 263.

comme dans l'appareil de Moritz, mais par un système de double articulation, comme on le voit dans les figures 263 et 264. L'appareil est combiné de

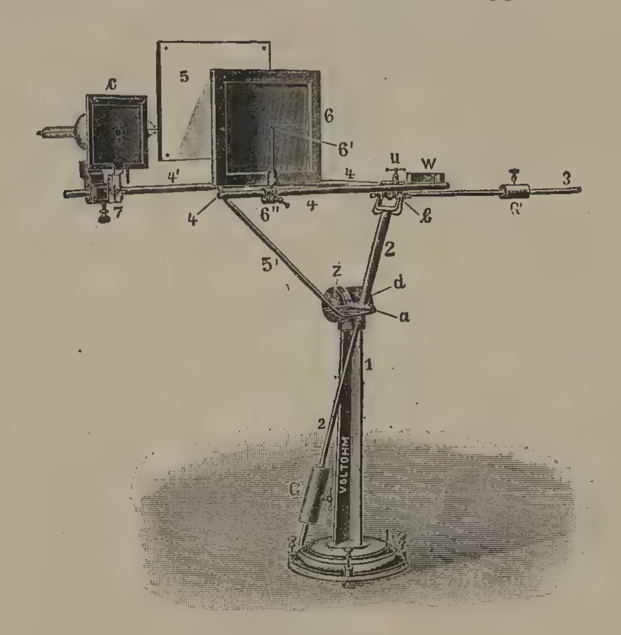


Figure 264.

telle façon qu'il puisse servir sur lit horizontal ou bien en station debout.

3° *Dessin à la main de l'image d'ombre orthogonale sur l'écran ou sur une*

feuille de papier-calque appliquée sur l'écran. — Ce procédé est le plus simple pour la mensuration de l'aire du cœur en particulier. L'ampoule et l'indicateur d'incidence cheminent en arrière, de manière que le rayon normal circonscrive le contour d'ombre, et on dessine à la main chaque fragment de contour au fur et à mesure qu'il est éclairé normalement. Le procédé de Moritz s'en rapproche bien un peu, puisque le style inscripteur vient marquer le contour d'ombre aux points mêmes où il se projette, mais il faut le ranger dans la deuxième catégorie, parce qu'il se rapproche plus de la méthode où le chemin parcouru par l'ampoule est conservé que de la méthode où l'on fait à la main un tracé de projection orthogonale. Le graphique de l'appareil Moritz se ferait aussi bien si le style était placé à distance, pourvu qu'il restât solidaire du cadre mobile. Nous ne classons donc dans cette catégorie que les procédés qui consistent à tracer à la main, sur l'écran ou le papier-calque, les contours orthogonalement projetés. La condition indispensable à l'exécution de ces tracés est le parallélisme de l'écran et du plan d'examen. Ce parallélisme est facile à obtenir. Il suffit de monter l'écran dans un système de doubles cadres analogues à celui des supports d'ampoule, et de fixer ce système parallèlement au châssis porte-tube. On place le malade, debout, devant le tube de Crookes en position frontale, les bras appuyés sur les consoles spéciales ; on laisse descendre les cadres porte-écran à hauteur convenable ; on déplace l'écran à droite ou à gauche, jusqu'à ce que son axe vertical médian coïncide à peu près avec l'axe médian du corps. Ordinairement nous figurons l'axe médian par un trait à l'encre, qui coupe verticalement l'écran en deux parties égales ; il suffit alors de faire coïncider la partie de cet axe correspondant à la région la plus claire de la projection avec l'axe sternal éclairé normalement. On exécute ensuite le tracé par étapes successives en amenant chaque fois le rayon normal au niveau de la zone qu'on va dessiner. Ce graphique peut se faire directement sur le verre de l'écran au moyen d'un crayon dermographique, ou bien sur papier transparent. Le premier procédé paraît être le plus pratique. Il a été adopté par MM. Bouchard et Balthazard pour la mensuration du cœur (1).

B. Mensurations. — Je termine en signalant un autre procédé plutôt applicable à la mensuration des diamètres horizontaux du cœur. Il consiste dans l'emploi d'une échelle de mensuration ainsi construite : En arrière de l'écran cheminent, à droite et à gauche de l'axe médian, des index opaques montés sur des coulisses horizontales de celluloïd. Ces coulisses donnent immédiatement en millimètres la distance de chaque index à l'axe médian. On réalise ainsi la mensuration des diamètres du cœur par le procédé que proposa M. Béclère à la Société d'électrothérapie, après que MM. Variot et Chicotot eurent communiqué leurs travaux sur la projection conique de l'aire du cœur. Dans un nouveau modèle, actuellement en construction, nous plaçons les index en avant de l'écran. Le verre porte des divisions centimé-

(1) *C. R. Ac. Sc.*, 1er décembre 1902, Bouchard et Balthazard.

triques. On évite ainsi la présence d'ombres parasites dans le champ d'éclairement (V. *Arch. Élect. méd.*, déc. 1902).

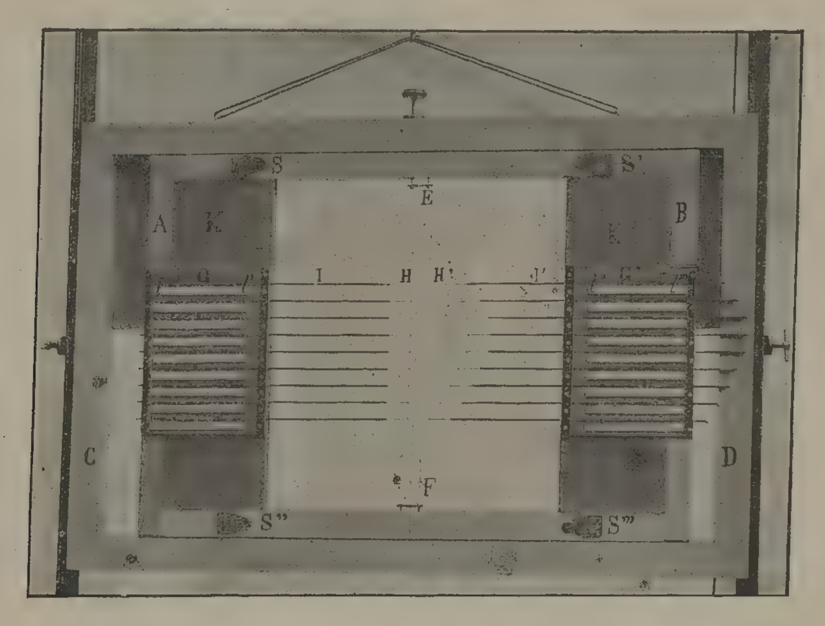


FIG. 265. — Échelle de mensuration. (RADIGUET et MASSIOT.)

C. FICHES ORTHOGONALES D'OBSERVATION DU THORAX. — Ce que nous venons de dire de l'emploi du rayon normal montre tout l'intérêt qu'il y a à con-

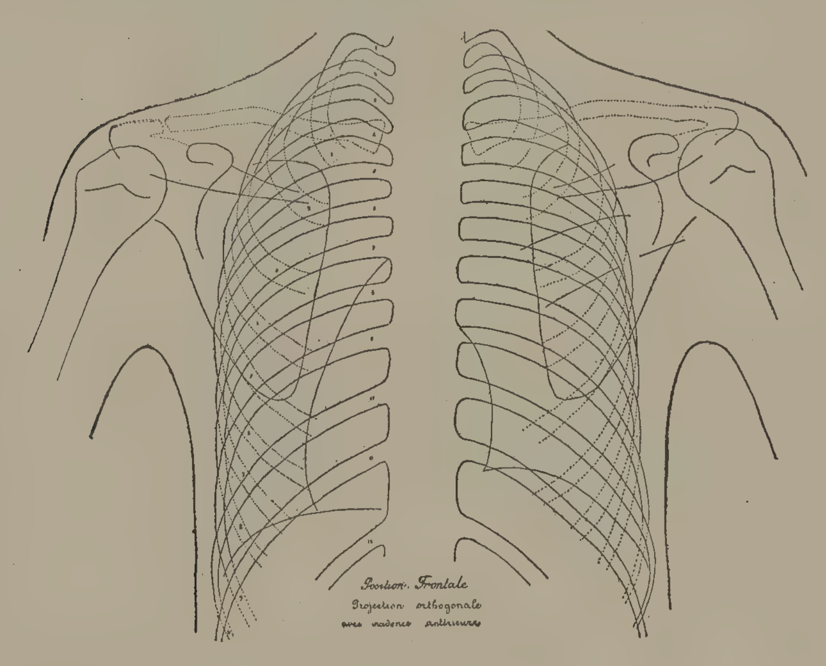


FIGURE 266. (RADIGUET et MASSIOT.)

naître l'aspect de chaque région du thorax en particulier, vue normalement. Au moyen d'une série de radiographies prises sous des incidences normales diverses, j'ai, dans ce but, construit par leur rapprochement le sciagramme orthogonal total du thorax.

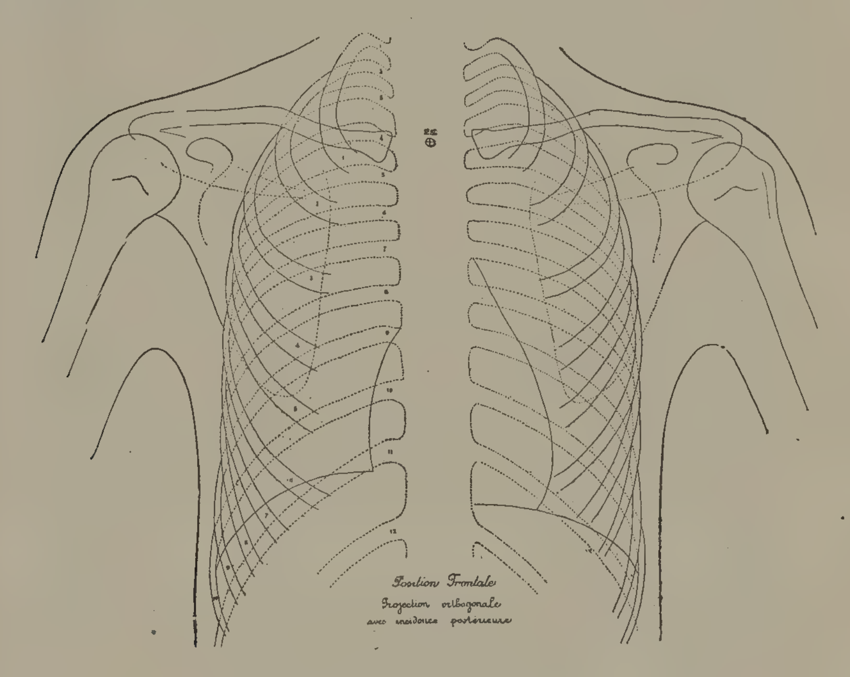


FIGURE 267. (RADIGUET et MASSIOT.)

L'emploi de ces sciagrammes orthogonaux comme fiches d'observation facilite beaucoup la localisation des ombres viscérales normales ou pathologiques, à condition de les irradier par un rayon normal au moment où on les repère.

TROISIÈME SECTION. — RADIOSCOPIE ET RADIOGRAPHIE DES ORGANES ANIMÉS DE MOUVEMENTS RYTHMIQUES

Lorsque nous regardons un thorax à l'écran, nous voyons nettement les mouvements du diaphragme et des côtes synchrones avec les respirations du sujet. Nous voyons aussi les mouvements du cœur, dont la forme et la position sont toutes différentes en systole et en diastole. L'ampliation de l'oreillette droite synchrone à l'inspiration, les battements de l'aorte, dans certains cas particuliers, sont aussi très apparents pour un œil exercé.

Outre l'intérêt physiologique qui s'attache à l'observation de ces mouvements, leur étude est aussi d'une importance capitale dans les cas patho-

logiques, on le verra dans le chapitre consacré à la radiologie des organes thoraciques.

La radioscopie ne permet pas de faire l'étude précise de ces mouvements. A peine pourrait-on espérer mesurer l'ampliation diaphragmatique moyenne en comprenant entre deux plans normaux transverses d'incidence le champ des oscillations de ce muscle. Les mouvements des côtes, les mouvements du cœur, sont très difficiles à apprécier exactement.

Ces considérations ont amené à dissocier par la radiographie les différentes phases du mouvement respiratoire et de la révolution du cœur.

§ 1. — **Respiration.**

La rapidité avec laquelle nous obtenons aujourd'hui de bons clichés nous dispense de tout appareil pour cinématographier les phases de la respiration. En quelques secondes nous pouvons prendre le thorax soit en inspiration, soit en expiration, par le seul jeu de l'interrupteur tenu à la main pendant que nous observons la respiration du sujet. Aussi ne décrirai-je pas un appareil qui m'avait rendu de grands services au temps où les longues poses étaient indispensables et qui me permettait d'impressionner la plaque automatiquement pendant telle ou telle phase du mouvement respiratoire. Ce dispositif répondait à un besoin qui n'existe plus aujourd'hui, grâce au perfectionnement des appareils générateurs des rayons X (1).

Quoi qu'il en soit, un champ d'étude intéressant reste ouvert ici. Le jeu des côtes, le jeu du draphragme, l'aspect varié du poumon plein ou vide d'air, l'aspect de lésions à ces deux phases, ce sont autant de sujets d'observations qui ne peuvent être complètes que par la radiographie dissociée faite avec méthode.

§ 2. — **Circulation.**

La cinématographie du cœur est beaucoup plus délicate.

La méthode que j'emploie est basée sur le principe suivant :

Je fais tourner un cylindre d'une façon synchrone à la révolution cardiaque, c'est-à-dire que je lui donne un mouvement tel qu'il commence sa révolution à un moment donné de la révolution du cœur, toujours le même, et qu'il la termine à peu près au moment où la révolution cardiaque est revenue à son point de départ. Je dis à peu près, car, en réalité, il achève son mouvement un peu plus tôt, et la petite période de seconde qui reste est employée précisément, grâce à l'arrêt du cylindre, à établir le synchronisme entre les révolutions du cylindre et du cœur.

(1) GUILLEMINOT, *C. R. Ac. des Sc.*, 8 août 1898.
BOUCHARD et GUILLEMINOT, *C. R. Ac. des Sc.*, 12 juin 1899.



FIGURE 268. (RADIGUET et MASSIOT.)

Je développe cette idée : voici un sujet qui présente 70 pulsations à la minute. Nous donnerons au cylindre une vitesse telle que s'il tournait sans arrêt il ferait 80 tours à la minute.

Plaçons-nous au moment de la pulsation radiale, base du synchronisme : le cœur va mettre 0",86 environ pour accomplir sa révolution et provoquer une seconde pulsation radiale ; pendant ce temps, le cylindre va, en 0",75, accomplir un tour, puis s'arrêter, se clencher dans un arrêt spécial que la pulsation radiale suivante fera tomber par une transmission électrique. Il y aura donc environ 1/10 de seconde pendant lequel le cylindre, arrêté, attendra le moment de se remettre en marche. — Cette fraction de seconde sera variable suivant les variations du cœur du sujet au cours de l'expérience.

Ceci posé, je dispose sur le cylindre, dont la révolution est divisée en 360°, un interrupteur pour le circuit générateur de rayons X, de telle sorte que les Rayons X apparaîtront à tel ou tel degré de la révolution cardiaque qu'il sera utile, et pendant un temps plus ou moins long.

Nous pourrons ainsi obtenir la radiographie du thorax du sujet du degré 10 au degré 90 de la révolution du cylindre, du degré 120 au degré 200, etc. Un simple calcul établira le rapport entre le degré de révolution du cylindre et le degré de la révolution cardiaque un peu plus lente. — Notons que, en raison de la variabilité du rythme cardiaque, il y a d'autant plus de variabilité d'écart qu'on s'éloigne du moment de la pulsation radiale, c'est-à-dire du degré 0.

Je n'insisterai pas sur la construction de l'appareil lui-même. Pour arriver à avoir un mouvement uniforme dans la rotation de l'axe commandant l'interrupteur, j'ai employé une petite dynamo dans le circuit de laquelle se trouve un rhéostat variable. La résistance de ce rhéostat varie suivant la vitesse et régularise l'excitation, grâce à un régulateur à force centrifuge. De cette façon, s'il arrive une résistance du côté de l'interrupteur par suite de mauvais réglage du pulsomètre, cette résistance se trouve immédiatement compensée.

Cet axe, animé d'un mouvement uniforme de 60 tours à la minute, commande, par l'intermédiaire de deux cônes de transmission, un second axe dont la vitesse peut être à volonté de 20 à 180 tours. Ce second axe supporte un contact à mercure qui ferme le circuit des rayons X pour un angle quelconque de sa révolution. Il est muni d'un arrêt qui se déclenche à chaque pulsation par le jeu d'un électro-aimant commandé par un pulsomètre. Ce pulsomètre n'est autre que le sphygmographe de Marey dont le levier est muni d'un contact électrique.

Le pulsomètre étant mis au point une fois pour toutes avant l'expérience, on corrige l'état de tension plus ou moins grande des tendons du poignet en tenant la main du sujet dans la main droite, la main gauche supportant le poignet. L'opérateur n'a d'ailleurs qu'à surveiller le pulsomètre : le reste de l'appareil ne demande aucun soin au cours de l'expérience.

Le fonctionnement de l'appareil est facile à comprendre. On règle la vitesse du cylindre de telle sorte qu'elle soit un peu supérieure à celle de la révolution cardiaque, 80 tours pour 70 pulsations. Il y a ainsi un contact du clenchet contre l'arrêt du cylindre de 1/10 de seconde environ, ce qui suffit pour établir le synchronisme du 0 de la révolution du cylindre avec le moment de la systole radiale.

Docteur H. GUILLEMINOT.

CHAPITRE II

TECHNIQUE DE LA STÉRÉOSCOPIE

Pour nous maintenir dans les limites de cet ouvrage, nous ne devrions étudier ici que les applications de la stéréoscopie à la radiographie. Mais, pour que cette étude porte ses fruits, il faut que le lecteur possède d'une manière nette et précise les notions générales de stéréoscopie. Or, il est loin d'en être ainsi. Ces notions sont fort peu répandues et généralement mal comprises; aussi nous a-t-il paru indispensable, sous peine de faire une œuvre inutile, de les exposer succinctement avant d'étudier la radiographie stéréoscopique proprement dite.

Nous diviserons donc cette étude en deux parties :

1° Notions générales de stéréoscopie ;

2° Radiographie stéréoscopique.

PREMIÈRE SECTION. — NOTIONS GÉNÉRALES DE STÉRÉOSCOPIE

Lorsqu'on astreint les yeux à regarder chacun une image distincte et différente, il peut se faire qu'il en résulte l'illusion d'un objet à trois dimensions. On réalise ainsi une *vision stéréoscopique*.

Bien plus, deux images différentes d'un même objet ainsi examinées pourront donner l'illusion de cet objet; mais un tel résultat ne sera obtenu qu'au prix de l'observation de règles bien établies, relatives soit à l'obtention, soit à l'examen de ces images.

Ces mêmes images, examinées incorrectement, pourront, dans certains cas, donner aussi l'illusion d'un objet à trois dimensions, mais qui n'aura ni la forme, ni les dimensions de celui qui a fourni les images ; en d'autres termes, elles montreront un objet différent.

Il est rarement nécessaire de reproduire stéréoscopiquement un objet avec ses dimensions, le plus souvent il suffit que la forme de celui-ci soit conservée et que l'on connaisse les rapports de ses dimensions à celles de l'objet réel. C'est, par conséquent, vers la conservation de la forme que doivent surtout tendre les efforts. L'étude des règles qui permettent d'arriver à ce but constitue ce que nous appellerons la *stéréoscopie de similitude*.

La non-observation de ces règles nous conduira à l'obtention d'un objet reconstitué, déformé par rapport à l'objet réel. Mais ces déformations peuvent être non seulement intéressantes, mais encore utiles à connaître, par exemple, dans le cas où une incorrection de l'examen de l'image stéréoscopique serait inévitable pour des raisons quelconques. Si donc nous ajoutons à l'étude des règles à observer pour obtenir un objet reconstitué de forme semblable à l'objet réel, l'étude des déformations qui peuvent provenir de l'infraction à ces règles, nous aurons formé un ensemble auquel nous donnerons le nom de *stéréoscopie de précision*. Cette dénomination a été adoptée avec ce sens par Cazes, le premier auteur qui ait donné des idées nettes et précises sur la stéréoscopie ; c'est pour cette raison que nous la maintenons (1).

L'objet virtuel dont les yeux ont l'illusion de l'existence, avec une forme et des dimensions données, est identique, en réalité, avec celui que pourrait donner une construction purement géométrique effectuée au moyen des images examinées. Cet objet existe donc virtuellement en dehors de toute question physiologique ; il relève uniquement de la géométrie, et sa forme et ses dimensions seront déterminées par les règles de cette dernière science. Nous sommes ainsi amenés à considérer un côté géométrique de la stéréoscopie.

Mais, dans la vision de cet objet géométriquement existant, s'introduiront des facteurs physiologiques restreignant la généralité des facteurs géométriques. Leur étude, indépendante de la précédente, est d'un intérêt considérable, et nous sommes par là amenés à étudier à deux points de vue différents la reconstitution d'un objet au moyen de perspectives stéréoscopiques :

1° Reconstitution géométrique ;

2° Reconstitution par les yeux.

§ 1. — Reconstitution géométrique d'un objet au moyen de deux perspectives accouplées.

Perspectives simples. — Considérons : 1° un objet formé par les points A, B, C ; 2° un plan P ; 3° un point O, non situé dans ce plan.

(1) Les termes de *stéréoscopie de précision* ou de *radiographie stéréoscopique de précision*, que nous avons toujours employés dans nos publications antérieures avec le sens indiqué ci-dessus, ont été généralement mal compris. On a cru que nous avions surtout en vue la recherche des corps étrangers. Or, la recherche des corps étrangers par la radiographie stéréoscopique et même la détermination de leur position par la stéréométrie ne représentent qu'un cas très particulier des applications de la radiographie stéréoscopique, et ce n'est certainement pas celui dans lequel l'emploi de la stéréoscopique présente le plus d'avantages sur les autres méthodes.

La stéréoscopie est une méthode générale pouvant donner les rapports des diverses parties d'un objet décelable par la radiographie et, au besoin même, les mesurer dans des cas où les points considérés ne sont pas distincts sur les épreuves simples, c'est-à-dire dans des cas où les autres méthodes ne sont plus applicables.

Si nous joignons par des lignes droites les points A, B, C de l'objet, au point O, ces droites traverseront le plan P respectivement en *a*, *b*, *c*, et les points *a*, *b*, *c* ainsi obtenus formeront, par définition, les perspectives centrales des points A, B, C ; leur ensemble sera la perspective *abc*.

Abaissons du point O une perpendiculaire sur le plan P, et soit V le pied

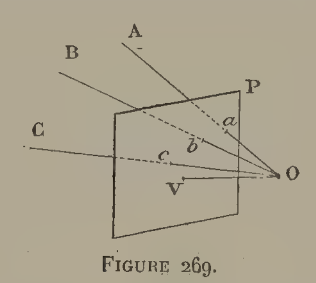


Figure 269.

de cette perpendiculaire ; la longueur OV et la position du point V déterminent la position du point O par rapport à la perspective *abc*.

Le point O a reçu le nom de *point de vue*.

Le plan P, celui de *plan du tableau*.

Le point V, celui de *point de fuite principal*, ou, plus simplement, *point principal*.

La ligne OV, celui de *rayon principal*.

La longueur OV, celui de *longueur* ou *distance principale*.

Enfin, tout plan parallèle au plan du tableau est un *plan de front*.

Il est à peine besoin de faire remarquer qu'une telle perspective correspond à un nombre infini d'objets, dont les points A, B, C sont soumis à l'unique condition d'être situés sur les directions O*a*, O*b*, O*c* ; elle ne peut donc pas définir une forme donnée.

Perspectives accouplées. — Il n'en sera plus de même si, au lieu d'une seule perspective de l'objet ABC, nous en construisons deux, de deux points de vue différents O et O′ sur deux plans quelconques, X et X′.

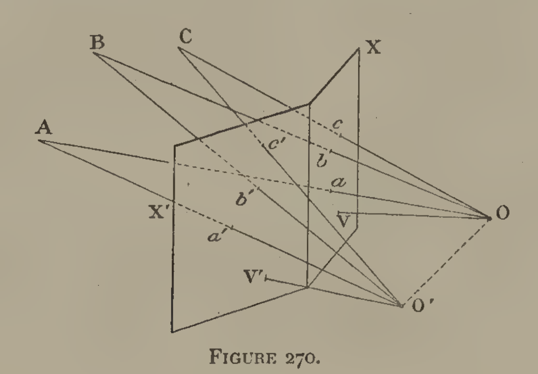


Figure 270.

Soient *abc* et *a′b′c′* ces deux perspectives. Il est évident que les droites O*a* et O′*a′* se couperont au point de l'espace où se trouvait A ; de même pour

Ob et *O'b'*, *Oc*, et *O'c'*, et nous pourrons ainsi reconstituer point par point l'objet qui a donné naissance à ces deux perspectives. Cet objet ainsi construit sera l'*objet reconstitué*, et les perspectives qui ont permis cette reconstitution seront des *perspectives accouplées*.

Nous avons supposé deux plans quelconques dans ce qui précède (nous aurions même pu supposer deux surfaces quelconques) ; mais, dans la pratique, des simplifications importantes s'imposent et, dans la suite, toutes les fois que nous parlerons de perspectives accouplées, nous aurons en vue celles obtenues :

1° Sur un même plan ; les deux rayons principaux seront donc parallèles entre eux;

2° Sur un plan parallèle à la ligne qui joint les points de vue, de telle sorte que les deux distances principales OV et O'V' seront égales entre elles.

La figure 271 montre cette simplification.

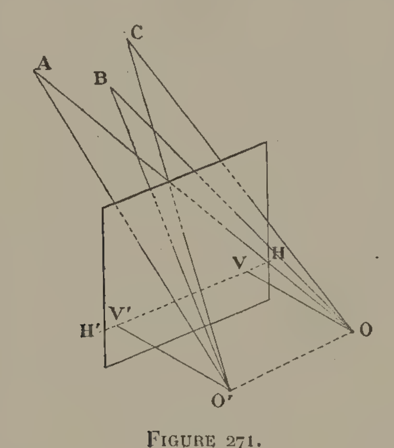


FIGURE 271.

Dans de telles perspectives, il est utile, au point de vue des démonstrations, de considérer certains éléments particuliers en dehors de ceux qui ont été signalés à propos des perspectives simples (point de vue, plan du tableau, point principal, rayon principal, longueur principale).

Ce sont : 1° *le plan d'horizon principal*. C'est le plan perpendiculaire au plan du tableau passant par les deux points de vue ; il contient donc les deux rayons principaux et les deux points principaux ;

2° *La ligne d'horizon principale*. C'est l'intersection du plan précédent et du plan du tableau ; cette ligne contiendra les points principaux et sera parallèle à la ligne qui joint les deux points de vue entre eux (1).

Nous voyons qu'un couple de perspectives peut définir parfaitement un

(1) On dit plan d'horizon *principal*, parce qu'on désigne, d'une manière générale, par plan d'horizon tout plan passant par le point de vue d'une perspective et perpendiculaire à son plan du tableau. Il en est de même pour la ligne d'horizon principale.

objet dans sa forme et ses dimensions, à la condition que *l'ensemble des deux perspectives et des points de vue* ait conservé leurs positions relatives. Mais, si ces positions changent, le même résultat sera-t-il atteint?

1° **Déformations produites par un déplacement des points de vue.** — Une perspective simple est absolument liée à son point de vue; en d'autres termes, étant donnée une perspective *abc* d'un objet ABC non contenu dans un seul plan de front, obtenue du point de vue O, si d'un second point O_1, différent de O, on mène les directions O_1a, O_1b, O_1c, ces directions correspondront à un objet $A_1B_1C_1$ forcément différent, par sa forme et ses dimensions, de ABC. Cela est vrai pour chacune des perspectives accouplées, si nous déplaçons leurs points de vue O et O′ en O_1 et O_1'; il pourra même arriver que les deux lignes correspondant au même point A, O_1a et $O_1'a'$, ne se rencontrent pas; auquel cas il n'y aura pas de reconstitution possible. Par conséquent, l'origine des directions O_1a, $O_1'a'$, etc., devra être en O et O′, c'est-à-dire dans les perspectives accouplées, comme dans les perspectives simples les points de vue sont liés à leur perspective correspondante par leur position, qu'il est interdit de faire varier (1).

Indiquons en passant les déformations produites par quelques modifications apportées à ces positions.

1° *Changement de la longueur principale.* — L'objet conserve ses dimensions transversales; mais les dimensions en profondeur (suivant une ligne perpendiculaire au plan du tableau) varient exactement comme la longueur principale; par exemple, une sphère deviendra un ellipsoïde.

2° *Déplacement des points de vue, suivant la ligne qui les joint, dans le même sens et d'une quantité égale.* — Les dimensions en profondeur et transversales ne changent pas; mais les angles ont changé; par exemple, un carré situé dans un plan perpendiculaire au plan du tableau devient un parallélogramme, à moins qu'il ne soit de plus perpendiculaire à une ligne d'horizon; auquel cas, il devient un rectangle.

3° *Déplacement des points de vue, suivant la ligne qui les joint, d'une quantité égale et en sens contraire.* — L'objet est déformé : les dimensions augmentent ou diminuent inégalement dans ses diverses parties.

2° **Déformations produites par un déplacement de l'ensemble de l'image et du point de vue de l'une des deux perspectives accouplées par rapport à ce même ensemble de l'autre perspective.** — Pour qu'il y ait reconstitution du point A, il faut que les directions Oa et $O'a'$, se coupent en un point de l'espace, en d'autres termes, que Oa et $O'a'$ soient contenues dans un même plan; et pour qu'il y ait recons-

(1) Ce fait, qui forme le point de départ de notre démonstration, n'est point évident *a priori;* mais comme son explication entraînerait la considération en particulier de tous les cas possibles de déplacement, nous croyons inutile de la faire, afin de ne pas sortir des limites du cadre de cet ouvrage. Il suffit d'ailleurs d'admettre cette invariabilité de la position relative du point de vue et de la perspective pour que toute la démonstration qui suit soit très facile à comprendre.

titution totale de l'objet, il faut que cela ait lieu pour tous les points de cet objet. Cette condition élimine déjà la possibilité de certains déplacements, tels que rotation de chaque perspective accompagnée de son point de vue dans le même sens autour d'un axe distinct perpendiculaire à leur plan; rotation de chaque perspective en sens contraire autour d'un axe situé dans le plan du tableau et perpendiculaire à la ligne d'horizon principale; rotation de chaque perspective d'un angle différent pour chacune d'elles, et en sens contraire, autour d'un axe perpendiculaire à leur plan, ou bien, dans le même sens, autour d'un axe perpendiculaire à la ligne d'horizon et situé dans le plan du tableau.

Dans les autres cas, la reconstitution aura lieu. Examinons ce que deviennent la forme et la dimension de l'objet.

Si nous faisons tourner chacune des deux perspectives d'un angle égal, en sens contraire, et autour d'un axe perpendiculaire à leur plan ou dans le même sens, et autour d'un axe situé dans le plan du tableau et perpendiculaire à la ligne d'horizon, et que ces axes soient, pour chacune des perspectives, identiquement situés par rapport à leur point principal, O*a* et O′*a*′, O*b*, O′*b*′, etc., restent dans le même plan; mais les perspectives de certains points se rapprochent l'une de l'autre, tandis que celles d'autres points s'éloignent; par suite, le point d'intersection de ces directions s'éloigne pour certaines et se rapproche pour d'autres; ou, en d'autres termes, l'objet se rapproche des points de vue et devient plus petit dans certaines de ses parties, s'éloigne et s'agrandit dans les autres.

En somme, nous arrivons à cette nouvelle conclusion que, non seulement *chaque perspective est liée à son point de vue, mais encore qu'aucune rotation de chaque ensemble n'est permise.*

Examinons maintenant ce que deviennent la forme et les dimensions de l'objet reconstitué lorsqu'on éloigne ou rapproche les deux perspectives toujours liées à leurs points de vue (toute rotation étant soigneusement évitée). Considérons l'ensemble de deux perspectives accouplées d'un objet AB, de leurs points de vue et de l'objet reconstitué (partie de la figure dessinée en traits pleins). Ces diverses parties de l'ensemble étant identiques à ce qu'elles étaient lorsque les perspectives ont été réalisées, l'objet reconstitué est, par suite, identique de forme et de dimensions à l'objet réel. Agrandissons cet ensemble tout entier dans un rapport donné.

L'objet A_1B_1 est évidemment agrandi dans ce même rapport, sans que sa forme ait changé. Nous avons par ce fait écarté d'une certaine quantité les deux points de vue entraînant leurs perspectives correspondantes et réalisé ainsi le déplacement que nous nous proposons d'étudier; mais, en même temps, nous avons agrandi les perspectives en les éloignant de leurs points de vue. Ramenons maintenant les perspectives en les déplaçant parallèlement à elles-mêmes suivant les lignes principales O_1V_1 et $O_1'V_1'$ à leur distance principale primitive O_1V et $O_1'V'$ et donnons-leur aussi leurs dimensions primitives. En vertu du parallélisme des lignes O_1A_1 et OA, O_1B_1

et OB, etc., les points a, b, a', b' se trouvent sur les directions O_1A_1, O_1B_1, $O_1'A_1$, $O_1'B_1$. Ce qui revient à dire que, par ce dernier déplacement, rien n'a changé dans la forme et les dimensions de l'objet reconstitué agrandi A_1B_1 ; ou encore que cet objet reconstitué agrandi est celui que fournissent les perspectives $ab...V$ et $a'b'...V'$, lorsque leur distance a varié de OO' à O_1O_1'.

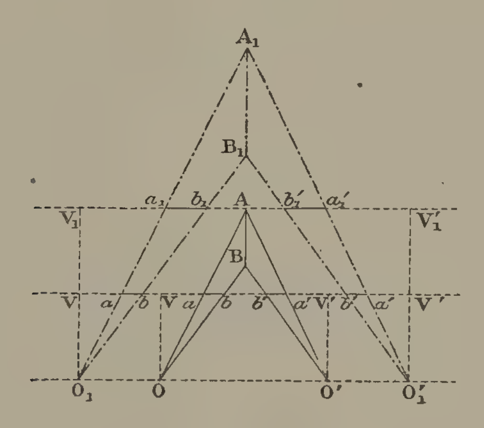


Figure 272.

Ainsi un tel déplacement des perspectives ne change en aucune manière la forme de l'objet reconstitué. Elle en modifie simplement les dimensions et la distance aux points de vue, et cela dans un rapport connu, qui est $\frac{OO'}{O_1O_1'}$.

Cette variation de distance et de dimension de l'objet pourra être exprimée par une relation dans laquelle :

P désignera la profondeur de l'objet réel c'est-à-dire la distance de son premier et de son dernier plan de front ;

p, la profondeur de l'objet reconstitué mesuré de la même manière ;

Δ, la distance des points de vue lorsque les perspectives de l'objet réel ont été réalisées ;

δ, la distance à laquelle ils ont été amenés par le déplacement voulu ;

D, la distance des points de vue au premier plan de front de l'objet réel ;

d, leur distance au premier plan de front de l'objet reconstitué.

On aura ainsi :

$$\frac{D}{d} = \frac{P}{p} = \frac{\Delta}{\delta},$$

qui est la loi géométrique des perspectives accouplées.

En résumé, nous avons montré successivement :

1° Que dans les perspectives accouplées, comme dans les perspectives simples, les points de vue sont liés invariablement à la perspective correspondante ;

2° Que, non seulement chaque perspective est liée à son point de vue, mais encore qu'aucune rotation de chaque ensemble n'est permise.

3° Que les dimensions dans l'objet reconstitué ne sont conservées que si aucun déplacement relatif des perspectives n'a été effectué. La forme est conservée dans le seul cas de déplacement où l'ensemble des perspectives et des points de vue se sont éloignés ou rapprochés suivant une ligne d'horizon.

§ 2. — Reconstitution d'un objet par les yeux au moyen de deux perspectives accouplées.

Conditions relatives à la direction des rayons visuels. — Nous venons de voir que les perspectives accouplées ont la propriété de permettre une reconstitution géométrique de l'objet qui leur a donné naissance. Cette propriété forme la base de la stéréoscopie. En effet, reprenons l'objet ABC, qui nous a servi d'exemple précédemment, et des deux points de vue différents O et O′, faisons deux perspectives; supprimons maintenant l'objet. S'il nous est possible de placer un œil en O, l'autre en O′ et d'astreindre chacun d'eux à regarder la perspective correspondante, tout se passera, *en ce qui concerne la direction du rayon visuel*, comme si les rayons reçus par les yeux émanaient d'un point de l'espace où se trouvait le point A. De même pour tous les points de l'objet. En d'autres termes, une telle contemplation de ces perspectives accouplées donnera, au point de vue de la forme et des dimensions, l'illusion de l'objet réel qui les a fournies.

Les rayons visuels ont fait par leur direction ce que nous avions fait précédemment par notre construction géométrique.

Aussi les règles qui découlent de ces considérations géométriques devront-elles être intégralement appliquées à la reconstitution de l'objet par les yeux, à la vision binoculaire des perspectives accouplées.

Ce sont ces règles que nous allons formuler en les appliquant à la reconstitution par les yeux.

1° *Chaque œil doit être placé au point de vue de l'épreuve qui lui correspond*, c'est-à-dire que :

a) Il doit regarder l'épreuve qui lui correspond ;

b) Il doit en être séparé par la distance principale ;

c) Le pied de la perpendiculaire abaissée de l'œil sur le plan des épreuves doit coïncider avec le point principal.

Ce premier ensemble de conditions résulte de la première proposition énoncée plus haut ;

2° *La ligne d'horizon principale d'une épreuve doit être dans le prolongement de la ligne d'horizon principale de l'autre épreuve.*

Cette seconde condition résulte de la deuxième proposition ;

3° *Si l'on ne veut conserver que la forme, il est permis géométriquement*

de faire les écartements des points de vue différents de la distance des yeux de celui qui doit observer l'image stéréoscopique.

Cette troisième règle est la conséquence de la troisième proposition.

On voit par là que l'observation de ces règles nécessite la connaissance, au sujet de chaque perspective, du point principal, de la distance principale, de la ligne d'horizon principale.

Nous verrons dans les applications comment on peut y arriver.

Conditions relatives à l'accommodation. — Dans la vision du couple stéréoscopique d'un objet réalisée suivant les règles qui viennent d'être énoncées tout se passe comme dans la vision de cet objet lui-même, en ce qui concerne la direction des rayons visuels ; mais il n'en est plus de même en ce qui concerne l'accommodation.

1° Dans la contemplation d'un objet réel, pour un angle de convergence donné, les yeux accommodent pour la distance à laquelle correspond cet angle de convergence. Or, dans la vision stéréoscopique, les conditions sont les mêmes, au point de vue de l'angle de convergence, que dans la vision d'un objet réel, mais, pour que chaque œil voie nettement la perspective, l'accommodation doit correspondre à sa distance et non à celle du point reconstitué. Cette distance est fixée par les règles géométriques et égale à la longueur principale. Ce n'est donc qu'exceptionnellement qu'il y aura concordance entre ces deux facteurs et seulement lorsque le point considéré se reconstituera dans le plan des épreuves.

Ne point accommoder pour la distance à laquelle se reconstitue le point considéré est en réalité un inconvénient de faible importance, car il n'est personne qui, par un exercice de courte durée, ne puisse arriver à rendre indépendantes la valeur de l'angle de convergence et celle de l'accommodation, c'est-à-dire regarder le point reconstitué et accommoder pour la distance des perspectives. D'ailleurs, il est fort simple d'interposer entre l'œil et l'image une lentille qui modifie d'une manière convenable le pouvoir convergent de l'œil de manière à le rendre correspondant à la distance du point considéré.

2° Mais il faut remarquer, en outre, que, pendant le temps de l'examen, l'angle de convergence varie lorsque les yeux examinent les points différents de l'objet reconstitué, tandis que l'accommodation doit, pour que la vision soit nette, rester sensiblement fixe, puisqu'elle correspond à une image plane. Dans tous les cas, ces variations ne pourraient correspondre aux variations de l'angle de convergence. Or, cette condition est plus difficile à réaliser que la précédente, et, tandis que le défaut de concordance en valeur absolue de l'angle de convergence et de l'accommodation est facile à réaliser, il n'en est pas de même, croyons-nous, au sujet de leurs variations, et surtout de leurs variations rapides. Il est très difficile de faire varier brusquement l'angle de convergence, tout en maintenant fixe l'accommodation, que celle-ci lui corresponde ou non. A toute variation du premier facteur correspondra une variation du second, et l'œil n'accommodera plus pour la dis-

tance à laquelle se trouve placée la perspective, si cette accommodation existait précédemment. Est-ce à dire pour cela que la netteté de la vision aura forcément disparu ? Non, si cette variation ne dépasse pas certaines limites, car il y a une tolérance dans l'accommodation. L'œil, tout en n'accommodant plus pour la perspective, la verra encore avec netteté, si la nouvelle accommodation ne diffère pas trop de ce qu'elle devrait être. Cette limite dans la variation de ce facteur en impose donc une autre à la variation de la convergence, ce qui se traduit par ce fait que la profondeur (épaisseur) de l'objet reconstitué ne pourra dépasser une certaine valeur.

Mais il existe encore une autre différence, au point de vue de l'accommodation, entre la vision d'un objet réel et celle d'un objet stéréoscopique. Lorsque nous regardons un point d'un objet reconstitué en accommodant pour l'image plane, nous voyons avec la même netteté tous les points de cet objet. Or, dans la vision d'un objet réel, les choses se passent différemment ; et si deux de ses points inégalement distants des yeux de l'observateur sont vus avec une netteté égale, ce n'est que grâce à la tolérance dans l'accommodation, et ils sont, par suite, compris dans une zone restreinte de cet objet. Donc, un objet reconstitué ne pourra, pour cette raison, donner l'illusion d'un objet réel que si ses divers points sont aussi compris dans cette zone correspondant à la tolérance accommodative, et nous nous retrouverons soumis ici à l'obligation que nous avait imposée la difficulté de l'indépendance entre les variations rapides d'angle de convergence et d'accommodation.

Que ce soit pour la première de ces raisons ou pour la seconde, à laquelle d'ailleurs nous attribuons une importance plus grande, nous devons nous maintenir dans des conditions telles que les limites de la tolérance accommodative ne soient pas dépassées. Il convient de remarquer que c'est grâce à son existence que la stéréoscopie peut elle-même exister.

M. Cazes, qui le premier a mis en lumière ce fait capital, s'exprime à ce sujet en ces termes : « S'il n'existait pas de tolérance dans l'accommodation, c'est-à-dire si on ne pouvait pas trouver deux points situés à des distances différentes de l'œil telles qu'en regardant l'un, l'autre paraisse encore net, la dimension en profondeur de l'objet reconstitué devrait être nulle ; l'objet devrait se réduire à un plan de front, et la stéréoscopie n'existerait pas. »

Utilité du stéréoscope pour l'examen des perspectives. — Nous avons vu, dans les considérations qui précèdent, que chaque œil doit regarder l'épreuve qui lui correspond et fixer sur chacune des épreuves les points correspondant à un point unique de l'objet réel.

Quels sont les moyens que nous emploierons pour arriver à ce but ?

Il suffit a priori de diriger chacun des yeux vers ce point. Si les deux points correspondants des perspectives sont séparés par un intervalle qui ne dépasse pas celui des yeux, il sera possible pour la majorité des observateurs de faire l'examen directement, sans appareil.

Mais, dans l'examen ainsi pratiqué, chaque œil voit forcément, en dehors

de l'épreuve qui lui correspond, l'autre épreuve. Il peut se faire qu'il soit gêné par cette vision. Pour supprimer cet inconvénient, il suffit d'employer une cloison médiane opaque. On peut déjà donner à ce dispositif le nom de stéréoscope.

De plus, nous avons vu que, dans la plupart des cas, l'angle de convergence et l'accommodation ne se correspondent pas, parce que l'objet se reconstitue à une distance différente de celle du plan des épreuves, qui est fixée par la longueur principale. Nous avons vu aussi qu'il était facile de supprimer cet inconvénient en plaçant devant chaque œil une lentille de pouvoir convergent ou divergent convenable. Si nous réunissons dans un même appareil ces deux dispositifs, cloison médiane opaque et lentilles, nous aurons réalisé dans son essence le stéréoscope ordinaire du commerce. Dans la pratique on enveloppe le tout dans une boîte. On réalise ainsi cet avantage que l'observateur, n'étant pas prévenu de la distance à laquelle il doit regarder, adapte inconsciemment l'angle de convergence de ses yeux à l'accommodation que lui imposent les lentilles.

Il est facile de comprendre que ce dispositif ne peut servir que pour des épreuves dans lesquelles la distance de deux points correspondants les plus éloignés ne dépasse pas sensiblement l'intervalle des yeux, car la divergence de ceux-ci ne peut jamais atteindre un degré considérable. Cet écartement supérieur à l'intervalle des yeux sera inévitable avec des épreuves dépassant une certaine dimension, et, dans ce cas, les moyens précédents d'examen deviennent insuffisants; il faut employer des appareils d'un principe différent. Le principe de ces appareils consiste dans la substitution aux deux perspectives réelles de deux perspectives identiques, mais virtuelles, et qu'il sera possible par suite de rapprocher entre elles d'une manière convenable. On pourra obtenir ce résultat avec un jeu de miroirs plans ou de prismes à réflexion totale.

La superposition des images dans ce cas est absolument comparable à celle qui a lieu par l'examen direct sans interposition d'instruments, et les perfectionnements que nous avons indiqués plus haut (cloison médiane, lentille convenable placée devant chaque œil) s'appliquent aussi bien aux stéréoscopes à images virtuelles.

Parmi ceux-ci nous recommanderons le stéréoscope de Wheastone et celui de Cazes, qui permettent d'examiner de grandes épreuves et qui peuvent être réglés, c'est-à-dire disposés de manière que les épreuves soient exactement à une distance égale à la longueur principale. Le stéréoscope de Cazes est le seul qui permette d'appliquer notre méthode de stéréométrie, et c'est à lui qu'il faut accorder la préférence, si on veut pouvoir réaliser toutes les applications de la stéréoscopie.

Nous reviendrons sur cette question des stéréoscopes dans le chapitre consacré à la radiographie stéréoscopique proprement dite.

Remarque. — En suivant les règles générales que nous venons d'exposer

succinctement, on peut obtenir, au moyen de deux perspectives d'un objet réel, un objet reconstitué de forme et de dimensions exactement semblables. Ces dimensions peuvent, à notre gré, rester identiques ou être modifiées, mais dans un sens et un rapport exactement connus, et ce sont uniquement ces faits que l'on cherchera à mettre en évidence en ajoutant au mot de stéréoscopie le terme de *précision*. En d'autres termes, l'observateur appréciera, dans l'objet reconstitué, la forme et les relations de distance, exactement comme il le ferait avec l'objet réel.

Donc on ne veut pas dire, par le mot de précision, que cette exactitude d'appréciation est plus grande dans l'objet reconstitué que dans l'objet réel; elle lui est absolument équivalente. Un observateur trop peu exercé pour apprécier les relations de distance dans un objet réel se trouvera en présence de la même difficulté d'appréciation lorsqu'il examinera l'objet reconstitué.

En admettant même que l'observateur soit suffisamment exercé, il est des circonstances où il éprouve le besoin d'une exactitude plus grande que celle que lui permet une appréciation à distance. Il fait alors des mesures. Ce besoin se fait sentir aussi et plus vivement encore en stéréoscopie, car, tandis que, dans la contemplation d'un objet réel, l'observateur peut se déplacer à son gré, et modifier comme il lui convient la position occupée par ses yeux, cette faculté n'existe plus dans l'examen stéréoscopique.

Ainsi les appréciations basées sur un simple examen visuel peuvent varier avec l'habitude de chaque observateur et, par suite, sont toujours critiquables.

D'ailleurs, l'exactitude de l'appréciation, pour un observateur donné, varie avec la grandeur à apprécier, et ces deux considérations nous ont amenés à rechercher la possibilité de mesurer en stéréoscopie, question qui n'avait jamais été étudiée avant nous.

Nous devrions donc, pour être complets, exposer ici notre méthode de stéréométrie, car elle est applicable à toutes les perspectives stéréoscopiques, qu'elles soient radiographiques ou non. Cependant comme la forme de cet exposé est un peu différente pour la radiographie, nous croyons devoir reporter cette étude au prochain chapitre, afin d'éviter des répétitions inutiles pour un médecin.

DEUXIÈME SECTION. — RADIOGRAPHIE STÉRÉOSCOPIQUE

§ 1. — Généralités.

Les notions générales de stéréoscopie que nous venons de résumer s'appliquent à toutes les perspectives, c'est-à-dire aussi bien aux perspectives radiographiques qu'aux autres. Pourvu qu'on ne s'écarte pas des règles posées, et seulement à cette condition, on pourra être certain d'obtenir toujours un bon résultat, et lorsqu'à l'examen au stéréoscope on observera une anomalie, c'est qu'on aura commis une erreur quelconque de technique qu'on retrouvera facilement. Nous supposons, bien entendu, que l'observateur possède la vision binoculaire, sans laquelle toute vision stéréoscopique est impossible. Cette certitude dans le résultat est la conséquence de la méthode que nous avons suivie. On peut résumer cette méthode en disant qu'au point de vue de la direction des rayons, les yeux, dans la vision sté-

réoscopique, se trouvent exactement dans les conditions où ils se trouveraient s'ils regardaient l'objet réel qui a donné naissance aux perspectives. La seule particularité que présente la vision stéréoscopique, c'est qu'il doit y avoir une certaine indépendance entre l'accommodation et l'angle de convergence des deux yeux ; mais pourvu qu'on ne dépasse pas la limite que nous avons fixée ou, plus simplement, qu'on ne dépasse pas dans chaque cas particulier l'écartement maximum indiqué dans la table générale que l'on trouvera plus loin, on ne dépasse pas la limite de tolérance de l'œil, et celui-ci fonctionne dans des conditions normales et, par suite, sans fatigue. Cette limite a été déterminée pour un œil moyen, et il est évident que certains individus privilégiés pourraient notablement, surtout après un entraînement convenable, dépasser les nombres qui ont été calculés en partant de la formule générale :

$$\Delta \max = \frac{D(D + P)}{50 P},$$

et inscrits dans la table I, page 566, que d'autres au contraire arrivent difficilement tout d'abord à supporter ces écartements. Pour ces derniers, les seuls, bien entendu, qui nous aient préoccupés, nous avons toujours constaté qu'après un entraînement de quelques instants au stéréoscope, la vision stéréoscopique devenait facile. Pour les perspectives radiographiques, que nous avons surtout pratiquées, et dont nous avons établi un grand nombre depuis quatre ans que nous nous occupons de la question, nous n'avons jamais rencontré une personne qui, bien dirigée, n'ait pas pu obtenir la sensation de relief même avec des épreuves de grande dimension.

Il y a loin de ces règles si simples et de cette certitude dans le résultat à l'obscurité et à l'indécision qui régnaient jusqu'ici au sujet de la vision stéréoscopique. Pour ne pas tomber dans la même erreur et pour être certain de faire une œuvre utile, nous nous sommes attachés à rester sur le terrain expérimental, afin d'éviter toute contradiction. Pour la même raison, nous n'avons pas introduit, dans notre exposé, les perceptions visuelles et la sensation qui en résulte. Nous répétons que l'observateur jugera toujours sainement, pourvu que, dans la vision stéréoscopique, ses yeux se trouvent exactement dans les conditions où ils se trouveraient s'ils regardaient l'objet réel. La sensation doit être forcément la même dans les deux cas. Les théories physiologiques n'auraient fait que compliquer inutilement notre étude. Nous tenons cependant à faire remarquer qu'il n'y a aucune contradiction de principe entre tout ce que nous avons dit et les théories des points identiques de Muller et des axes de projection de Giraud-Teulon. Ces dernières doivent être considérées comme des explications du mécanisme intérieur de l'œil qui viennent compléter notre exposé volontairement expérimental.

§ 2. — **Historique.**

La première application de la stéréoscopie à la radiographie est due, à

notre connaissance, à MM. Imbert et Bertin-Sans, de Montpellier. Le dispositif employé par ces auteurs est le suivant :

« La partie du corps à photographier est disposée sur une lame métallique percée en son milieu d'une assez large ouverture en face de laquelle doit se trouver la région du corps examinée. La lame est d'ailleurs inclinée par rapport à la normale, et l'on dispose au-dessous la plaque sensible dont la seule partie qui puisse dès lors être influencée est celle qui se trouve au-dessous de l'ouverture de la lame métallique. Après un temps de pose suffisant, on fait glisser la plaque sensible. On incline la lame, mais en sens contraire du même angle que précédemment, et l'on actionne de nouveau le tube pendant le même temps. Les deux épreuves obtenues ainsi, placées à une distance convenable l'une de l'autre dans un stéréoscope, donnent très nettement la sensation du relief ou de la direction d'un corps étranger (1). »

Le 2 novembre 1896, MM. Rémy et Contremoulins (2) ont présenté à l'Académie des sciences une note sur l'emploi des rayons X aux recherches anatomiques. Pour bien faire ressortir les différents degrés de profondeur des différents plans vasculaires, les auteurs ont eu recours à des épreuves stéréoscopiques dont l'effet est saisissant. M. le docteur Destot (3) a appliqué aussi la stéréoscopie à l'étude du système circulatoire. Son dispositif diffère peu de celui de MM. Imbert et Bertin-Sans. L'inclinaison des rayons dans les deux épreuves est seulement remplacée par un déplacement du tube producteur. Le résultat est évidemment le même.

Au mois de mars 1897, nous avons présenté notre première note sur la question (4). Tandis que les auteurs précédents se contentaient d'obtenir deux clichés qui différaient entre eux d'une manière arbitraire, nous avons cherché, en prenant pour point de départ les recherches de M. Cazes sur les perspectives centrales (5), à réaliser les conditions suivantes :

1° Obtenir dans l'examen au stéréoscope un objet virtuel dont la forme fût exactement semblable à celle de l'objet soumis à l'action des rayons X ;

2° Obtenir un relief maximum tout en rendant l'objet facile à examiner dans toutes ses parties. Les considérations exposées succinctement dans la note aux *Comptes rendus* ont été développées dans un grand nombre d'autres publications ultérieures (6).

A la suite de la publication de l'article développé des *Archives de physio-*

(1) Imbert et Bertin-Sans, *Comptes rendus*, 30 mars 1896.

(2) Rémy et Contremoulins. *Comptes rendus*, 2 novembre 1896.

(3) Destot, *Société de biologie*, 29 novembre 1896; *Bulletin de l'Académie de Médecine*, 29 décembre 1896.

(4) Marie et Ribaut, *Comptes rendus*, 22 mars 1897.

(5) Cazes, *Stéréoscopie de précision*. Pellin, éditeur, 1895.

(6 Marie et Ribaut, *Archives de physiologie*, 1er juillet 1897. — Marie et Ribaut, *Archives d'électricité médicale*, 19 août 1897. — Jeannel et Marie, *Archives provinciales de chirurgie*, janvier 1898. — Marie et Ribaut, *Comptes rendus*, 8 août 1898. — Marie et Ribaut, *Archives de physiologie*, octobre 1898.

logie, M. le docteur Destot a proposé un appareil pour l'examen immédiat des négatifs encore humides. En réalité, le dispositif qu'il a décrit était déjà, dans son principe, adopté par tout le monde, et si dans notre article nous nous étions surtout occupés des positifs sur papier et des positifs par transparence, c'est parce que l'examen des négatifs ne présentait aucune difficulté.

M. Chabaud (1) a construit récemment un matériel pour l'obtention et l'examen des clichés stéréoscopiques. Il se sert des tables que nous avons établies.

En supposant réalisées les deux conditions énumérées plus haut, les distances qui séparent les divers plans ne peuvent être connues que par appréciation, étant donné que l'objet examiné est virtuel. Pour obtenir plus de précision, nous avons cherché à mesurer la distance en profondeur qui sépare les divers plans de l'objet. Le dernier appareil (2) que nous avons fait construire, et que nous appelons le stéréomètre, est d'une simplicité de construction et de fonctionnement tout à fait parfaite. On peut mesurer les distances en profondeur qui séparent deux points quelconques, et cela en faisant simplement deux lectures sur une règle graduée. Les évaluations sont ainsi rendues extrêmement rapides.

Les premières mesures faites suivant une seule direction ont été complétées plus récemment par des mesures faites suivant deux autres directions perpendiculaires à la première, ce qui résout complètement le problème de la détermination exacte de la position dans l'espace d'un point quelconque d'un objet radiographié stéréoscopiquement (4, 5, 6).

§ 3. — **Théorie**.

L'emploi des rayons de Röntgen en médecine prend chaque jour plus d'importance, d'une part, à cause de l'étendue croissante de leurs applications, d'autre part, en raison de la précision toujours plus grande des indications qu'ils fournissent.

Cependant, dans certains cas, les indications fournies soit par la radioscopie, soit par une seule épreuve radiographique sont insuffisantes, et cela pour les raisons suivantes :

1° L'image obtenue correspond à celle de corps vus par transparence et par conséquent ne donne aucune indication sur l'ordre de superposition des plans et sur les distances qui les séparent. L'image est, en effet, formée par

(1) CHABAUD, *Annales d'électrobiologie*, 1899; p. 111.
(2) MARIE et RIBAUT, *Comptes rendus*, 17 avril 1899.
(3) T. MARIE, *Archives d'électrobiologie*, décembre 1899.
(4) MARIE et RIBAUT, *Comptes rendus*.
(5) MARIE et RIBAUT, *Archives d'électricité médicale*, juillet 1900.
(6) MARIE, *Rapport à l'Association française pour l'avancement des sciences*, août 1900.

un ensemble d'ombres dues à la transparence variable des diverses parties de l'objet hétérogène soumis à l'action des rayons X. On ne peut même pas espérer obtenir ici des indications de relief comme dans la photographie ordinaire, où l'éclairage est superficiel, puisque le clair-obscur est dû simplement aux différences d'opacité des diverses parties de l'objet;

2° La faible distance qui sépare le tube producteur des rayons X de l'objet ne permet pas d'assimiler les images obtenues à des projections orthogonales. On ne peut obtenir que des projections centrales dont l'aspect est lié à la distance du point d'origine des rayons X. La différence d'aspect entre une projection centrale déterminée et la projection orthogonale unique d'un objet est d'autant plus grande que le tube producteur est plus rapproché et l'objet plus épais. Faisons remarquer en passant qu'on ne tient pas assez compte de cette condition dans l'examen des radiographies simples et qu'on est toujours tenté de les assimiler à des projections orthogonales, ce qui peut entraîner des erreurs d'interprétation. Mais même en tenant compte de cette condition, on ne peut pas arriver à une appréciation exacte parce qu'on ne connaît pas généralement la profondeur à laquelle se trouve la partie de l'objet que l'on examine et, par conséquent, on ne peut pas apprécier le déplacement qui est la conséquence de l'obliquité des rayons;

3° La superposition d'un trop grand nombre de détails sur la même surface peut rendre difficile, sinon impossible, la compréhension des images. Il est évident, en effet, qu'en chaque point du cliché vient se superposer tout ce qui dans l'objet se trouve sur le trajet de la radiation qui, partant du miroir positif du tube, aboutit à ce point;

4° Les ombres qui forment les clichés radiographiques sont souvent mal délimitées. Le cas se présente fréquemment en clinique, surtout quand on opère sur le thorax et sur l'abdomen. Ces zones opaques peuvent être facilement confondues avec les taches de développement qu'on n'est jamais certain d'éviter en photographie et qui sont d'autant plus fréquentes en radiographie qu'on emploie des plaques très grandes et très sensibles.

Tous ces inconvénients disparaissent à la fois, si, au lieu de se contenter d'une seule perspective, on réalise deux perspectives centrales accouplées, c'est-à-dire si on fait de la stéréoscopie. Au moment de l'examen du stéréoscope, l'objet se reconstitue virtuellement dans l'espace, chaque détail reprend sa place, et les surfaces leurs formes. Les plans se séparent les uns des autres et, par conséquent, les différences de profondeur apparaissent. Les indications sont plus complètes que pour la radiographie simple, puisque les diverses ombres qui étaient superposées sur la plaque unique, et de ce fait indistinctes, deviennent distinctes en reprenant leurs places dans l'espace.

Pour que le problème soit résolu d'une manière tout à fait satisfaisante, il est nécessaire que l'objet virtuel, examiné au stéréoscope, soit tout à fait semblable, géométriquement parlant, à l'objet réel soumis à l'action des rayons X. Pour cela il faut que les perspectives à accoupler, ou couple sté-

réoscopique, soient obtenues et examinées suivant certaines règles que nous allons étudier maintenant.

Cette étude comprendra nécessairement deux parties :

1° Conditions relatives à l'obtention des épreuves ;

2° Conditions relatives à l'examen des épreuves au stéréoscope.

A. — Conditions relatives a l'obtention des épreuves

Dans toute opération stéréoscopique, il est nécessaire d'obtenir deux images correspondant, l'une à la vue de l'objet par rapport à l'œil droit, l'autre à la vue de l'objet par rapport à l'œil gauche. Il suffit pour cela de réaliser, sur un plan, de deux points de vue différents, deux perspectives du même objet. On pourra, par exemple, faire successivement deux épreuves en déplaçant le tube dans l'intervalle des deux opérations parallèlement au plan de la couche sensible, l'objet occupant toujours la même position. On pourra aussi faire l'inverse, laissant le tube immobile déplacer l'objet en évitant toute déformation. Dans les deux cas, on obtient un déplacement relatif du tube et de l'objet, c'est-à-dire deux perspectives accouplées, et c'est là le but que l'on poursuit.

Mais quelle doit être la valeur de ce déplacement ? Cette question importante dans toute opération stéréoscopique le devient singulièrement dans le cas qui nous occupe. C'est là le point principal de nos recherches. Auparavant, les opérateurs se contentaient de faire un déplacement arbitraire, le plus souvent égal à l'intervalle qui sépare les deux yeux (6,5 à 7 centimètres, suivant les observateurs). Cette façon d'agir ne permettait d'arriver au résultat cherché que dans les cas particuliers, tandis que le problème comporte une solution simple et générale.

Nous avons vu précédemment que les considérations géométriques n'imposent pas de limite à cette distance et, quel que soit l'écartement entre les deux poses, la reconstitution de l'objet a toujours lieu. Il n'en est pas de même des considérations physiologiques, qui montrent que l'examen au stéréoscope peut être impossible si l'écartement entre les deux positions du tube a été trop grand. Nous répétons que, dans la vision binoculaire d'un objet réel, l'angle de convergence des yeux et l'accommodation varient simultanément quand on passe d'un plan de front de l'objet à l'autre. Au contraire, dans la vision stéréoscopique l'accommodation reste constante, puisqu'elle correspond à des images planes, tandis que l'angle de convergence varie en passant d'un plan de front de l'objet reconstitué à un autre plan. Ce défaut de concordance ne peut être toléré que jusqu'à une certaine limite de la variation de cet angle, variation qui dépend évidemment de l'épaisseur et de la distance de l'objet reconstitué. Mais, d'après les lois géométriques des perspectives accouplées déjà démontrées,

$$\frac{P}{p} = \frac{D}{d} = \frac{\Delta}{\delta},$$

ces deux dernières valeurs dépendent elles-mêmes de la distance de l'objet réel aux points de vue, de son épaisseur et de la distance entre eux des points de vue (1). La distance et l'épaisseur pouvant être quelconques, il faut forcément imposer à l'écartement un maximum que la formule suivante permet de calculer :

$$\Delta \max = \frac{D (D + P)}{50 P}.$$

Δ = Écartement maximum ou déplacement relatif du tube et de l'objet.

P, Épaisseur maxima de l'objet radiographié.

D, Distance du tube à l'objet.

Ainsi l'écartement entre les deux poses ne doit pas dépasser une certaine limite, une valeur maxima qui dépend de l'épaisseur de l'objet et de la distance à laquelle on a placé le tube producteur des rayons X. Cette valeur présente en outre l'avantage de correspondre aux meilleures conditions du relief. Le relief obtenu est, en effet, aussi intense que possible sans cesser d'être exact, c'est-à-dire sans que l'objet virtuel cesse de posséder la forme de l'objet réel (2). Si l'on dépasse cette limite, l'examen devient très pénible ou impossible, surtout pour les premiers plans. C'est une critique que l'on a adressée à la radiographie et qui n'est que le résultat d'une erreur opératoire. Si on reste au-dessous de cette limite, l'examen est facile, mais le relief est moins intense. C'est donc cette valeur maxima qu'il faudra toujours employer. Pour la calculer, il suffit de mesurer l'épaisseur de l'objet à radiographier, de déterminer la distance qui sépare le point d'origine des rayons X de la surface la plus rapprochée de l'objet, puis d'introduire ces deux quantités dans la formule signalée plus haut. Pour éviter ces calculs, toujours un peu ennuyeux à faire au moment d'une opération radiographique, nous les avons établis à l'avance pour les cas les plus fréquents, et les nombres ont été réunis dans la table ci-dessus.

Dans cette table :

A, désigne l'écartement des points de vue, lors de l'obtention des épreuves ;

P, la profondeur de l'objet réel radiographié ;

D, la distance du point d'origine des rayons X au point le plus rapproché de l'objet.

(1) Voir, pour plus de détails, p. 553.

(2) *Remarque.* — Il faut mettre le lecteur en garde contre une confusion trop fréquente entre relief faussé et relief rendu plus intense. Le relief est exact si l'objet reconstitué a la même forme que l'objet réel ; mais son relief peut être rendu plus ou moins intense. Donnons un exemple : Considérons un cylindre de 10 mètres de diamètre placé à 200 mètres d'un observateur, et un autre de 1 centimètre de diamètre placé à $0^{m},20$. Ils ont même forme et même dimension apparente. Mais tandis qu'il sera impossible d'apprécier la forme du gros cylindre, mettant de côté toute question d'éclairage, il sera très aisé de reconnaître celle du petit, autrement dit le relief de celui-ci sera plus intense. On aurait eu, au contraire, un relief faussé si la similitude des dimensions n'avait pas été conservée.

TABLE I. — *Indiquant les valeurs maxima de l'écartement des points de vue, pour des distances du tube à l'objet variant entre 10 et 60 centimètres et des épaisseurs d'objets comprises entre 1 et 30 centimètres.*

	D																										
	10			15			20			25			30			35			40			50			60		
P	Δ	D	G	Δ	D	G	Δ	D	G	Δ	D	G	Δ	D	G	Δ	D	G	Δ	D	G	Δ	D	G	Δ	D	G
1	2.2	30	3.0	4.8	20	1.3																					
2	1.2	55	5.6	2.5	39	2.6	4.4	30	1.5	6.7	24	0.9															
3	0.8	85	8.5	1.8	55	3.6	3.0	44	2.2	4.0	41	1.6	6.6	30	1.0												
4				1.4	70	4.6	2.4	55	2.7	3.6	46	1.8	5.4	36	1.2	6.8	34	0.9									
5				1.2	82	5.4	2.0	66	3.3	3.0	55	2.2	4.2	47	1.5	5.6	41	1.1									
6				1.0	99	6.6	1.7	77	3.8	2.6	63	2.5	3.6	55	1.8	4.7	49	1.4	6.1	43	1.0						
7							1.5	88	4.4	2.1	78	3.1	3.2	62	2.0	4.2	55	1.5	5.3	49	1.2						
8							1.4	94	4.7	2.0	80	3.2	2.8	70	2.3	3.7	62	1.7	4.1	55	1.3						
9							1.3	100	5.0	1.9	87	3.4	2.6	76	2.5	3.4	68	1.9	4.3	61	1.5	6.5	50	1.0			
10							1.2	110	5.5	1.8	91	3.6	2.4	82	2.7	3.1	74	2.1	4.0	66	1.6	6.0	55	1.1			
11							1.1	120	6.0	1.7	97	3.8	2.2	90	3.0	2.9	80	2.3	3.7	71	1.7	5.5	60	1.2			
12							1.0	130	6.5	1.6	103	4.1	2.1	94	3.1	2.7	85	2.4	3.4	77	1.9	5.1	64	1.3			
13							1.0	130	6.5	1.5	110	4.4	2.0	99	3.3	2.5	92	2.6	3.2	81	2.0	4.8	68	1.3	6.7	59	0.9
14							0.9	148	7.4	1.4	118	4.7	1.9	104	3.4	2.4	96	2.7	3.0	88	2.2	4.5	73	1.4	6.3	63	1
15										1.3	127	5.0	1.8	110	3.6	2.3	100	2.8	2.9	91	2.2	4.3	77	1.5	6.0	66	1
16													1.7	118	3.9	2.2	105	3.0	2.8	94	2.3	4.1	80	1.6	5.7	69	1.1
17													1.6	123	3.1	2.1	110	3.1	2.7	97	2.4	3.9	84	1.6	5.4	73	1.2
18													1.6	123	4.1	2.0	115	3.2	2.6	101	2.5	3.7	88	1.7	5.2	76	1.2
19													1.5	132	4.4	1.9	121	3.4	2.5	105	2.6	3.6	91	1.8	4.9	80	1.3
20													1.5	132	4.4	1.9	121	3.4	2.4	110	2.7	3.5	94	1.8	4.8	83	1.3
21													1.4	141	4.7	1.9	121	3.4	2.3	115	2.8	3.4	97	1.9	4.6	86	1.4
22													1.4	141	4.7	1.8	128	3.6	2.2	120	3.0	3.3	100		4.4	90	1.5
23													1.4	141	4.7	1.8	128	3.6	2.2	120	3.0	3.2	103	2.0	4.3	92	1.5
24													1.3	152	5.0	1.7	135	3.8	2.1	126	3.1	3.1	106		4.2	94	1.5
25													1.3	152	5.0	1.7	135	3.8	2.1	126	3.1	3.0	110	2.2	4.0	99	1.6
26													1.3	152	5.0	1.6	144	4.1	2.0	132	3.3	2.9	114		3.9	101	1.6
27													1.3	152	5.0	1.6	144	4.1	2.0	132	3.3	2.8	118	2.3	3.8	104	1.7
28													1.2	165	5.5	1.6	144	4.1	1.9	138	3.4	2.8	118	2.3	3.6	110	1.8
29													1.2	165	5.5	1.5	154	4.4	1.9	138	3.4	2.7	122	2.4	3.6	114	1.8
30													1.2	165	5.5	1.5	154	4.4	1.9	138	3.4	2.7	122	2.4	3.6	118	1.8

Ces trois quantités sont les plus importantes à considérer. Nous y avons joint à titre de renseignement accessoire :

d, la distance de l'œil à l'objet reconstitué, lors de l'examen au stéréoscope.

G, le grossissement, c'est-à-dire le rapport des trois dimensions de l'objet reconstitué à celles de l'objet réel.

Remarques. — 1° Les valeurs inscrites dans la table ont été calculées en admettant pour l'intervalle des yeux δ une valeur égale de $6^{cm},6$, cette moyenne ayant l'avantage de simplifier les calculs. Les nombres ainsi obtenus peuvent d'ailleurs être facilement rapportés à une autre valeur de δ. On opérera la transposition de la façon suivante :

$$\Delta' \max = \Delta \max \frac{\delta}{6,6}.$$

2° On voit d'après la formule générale $\Delta \max = \frac{D(D+P)}{50\,P}$ que pour une distance donnée D, la valeur maxima de l'écartement croît quand l'épaisseur de l'objet décroît. Mais en même temps que cet écartement augmente de valeur, la distance du premier plan de front de l'objet diminue, car $\frac{\Delta}{D} = \frac{\delta}{d}$. Or, cette distance *d* ne peut pas décroître indéfiniment. En d'autres termes, l'objet reconstitué ne peut pas trop se rapprocher des yeux, l'angle de convergence de ceux-ci devenant trop grand pour pouvoir être supporté sans fatigue. L'écartement maximum ne pourra donc correspondre à l'épaisseur de l'objet que jusqu'à une certaine limite. Nous assignons à *d* un minimum de 18 centimètres. La limite acceptable de ces maxima sera par suite donnée par la formule :

$$\frac{\Delta}{\delta} = \frac{D}{d} = \frac{D}{18}, \qquad \Delta \leqq \frac{\delta D}{18},$$

$$\Delta \leqq 0,36\ D,$$

ce qui a lieu pour :

$$D \leqq 17\ P.$$

Donc, pour un objet d'épaisseur donnée, nous devons faire varier l'écartement entre 0 et un maximum lié aux autres valeurs par les relations précédentes.

Les vides de la partie supérieure de la table correspondent à un écartement trop grand pour la relation $\Delta \max \leqq 0,36\ D$; ceux de la partie inférieure, à un écartement trop faible pour pouvoir être mesuré d'une manière assez précise dans la pratique courante.

Nous avons vu plus haut que toutes les distances donnent la même impression de relief total, pourvu qu'on emploie l'écartement correspondant à la position choisie. Il y aura cependant un choix à faire parmi les différentes distances acceptables, suivant la nature de l'objet et les difficultés qu'il in-

troduit dans la technique radiographique. Si on veut obtenir un objet présentant le plus de détails possible, il faudra regarder cet objet sous un angle maximum, et par conséquent se rapprocher de la plaque autant que le permettront les conditions de l'expérience et le but que l'on se propose (longueur d'étincelle de la bobine, netteté de l'image, etc.). La table I donnera l'écartement correspondant.

Cas particulier.— *Reconstitution grandeur naturelle.*— Lorsque l'écartement employé est égal à la distance des yeux (nous adoptons comme moyenne $6^{cm},6$), l'objet virtuel se reconstitue à la distance à laquelle l'objet réel a été radiographié et par conséquent possède les mêmes dimensions. L'examen au stéréoscope est alors plus facile. L'écartement de $6^{cm},6$ devant correspondre à l'écartement maximum, la distance du tube à l'objet ne peut être quelconque, elle est liée directement à l'épaisseur de l'objet, et cela d'après la formule :

$$6{,}6 = \frac{D(D+P)}{50P}.$$

Étant donné un objet quelconque dont l'épaisseur vient d'être mesurée, cette formule donne la distance à laquelle il faut placer son tube pour obtenir une reconstitution grandeur naturelle. Ces calculs ont été faits à l'avance pour les cas usuels, et les nombres ont été réunis dans la table II.

Table II. — *Reconstitution grandeur naturelle* : $\Delta = 6^m,6$.

ÉPAISSEUR DE L'OBJET P	DISTANCE DU TUBE A L'OBJET D	ÉPAISSEUR DE L'OBJET P	DISTANCE DU TUBE A L'OBJET D
CM.	CM.	CM.	CM.
1.0	17.6	4.0	34.3
1.2	19.3	4.5	36.3
1.4	21.0	5.0	38.1
1.6	23.2	6.0	42.0
1.8	23.4	7	44.7
2.0	24.7	8	47.5
2.2	25.8	9	50.1
2.4	26.9	10	52.6
2.6	27.9	11	55.0
2.8	29.0	12	57.2
3.0	30.0	13	59.3
3.2	30.9	14	61.3
3.4	31.8	15	63.2
3.6	32.7	16	65.1
3.8	33.9		

On voit, en examinant cette table, que la distance devient rapidement trop grande au point de vue radiographique. Ainsi, pour un objet de 16 centimètres, $D = 65^{cm},1$, ce qui fait $81^{cm},1$ de distance totale du tube à la plaque. Il est donc préférable de se servir de la formule générale et, pour

un objet donné, de choisir la distance du tube qui convient le mieux à l'opération radiographique, puis de prendre dans la table le nombre correspondant pour l'écartement des points de vue.

B. — Conditions relatives a l'examen des épreuves au stéréoscope

Presque toutes les conditions relatives à l'obtention des épreuves indiquées précédemment ont pour effet de produire dans l'objet reconstitué un relief exact aussi intense que possible, en même temps que facile à examiner. Mais la plupart des causes de l'exactitude du relief dépendent d'un examen correct des épreuves obtenues.

Les conditions essentielles d'examen d'un couple stéréoscopique sont les suivantes :

1° *Chaque œil doit regarder individuellement l'épreuve qui lui correspond.* — L'ensemble des deux épreuves forme un tout pouvant, sans que le relief cesse d'être exact tourner de 180° autour d'un axe perpendiculaire et passant par le milieu de l'intervalle des yeux ; les bords en contact ne changent pas. Mais une transposition des deux épreuves, qui amène au contact les bords extérieurs, produit ce que l'on appelle le pseudo-relief, dont l'aspect fantastique en stéréoscopie ordinaire, fait immédiatement reconnaître l'erreur. Ici, au contraire, ce pseudo-relief prend un aspect suffisant de vérité, et cela se comprend puisque, contrairement à ce qui se passe pour la radiographie ordinaire, les épreuves radiographiques simples ne donnent aucune indication sur l'ordre de superposition des plans. On croira voir l'objet par la face qui s'appliquait à la gélatine.

Bien qu'il soit toujours préférable d'examiner l'objet virtuel dans la position où l'on a photographié l'objet réel, il n'en est pas moins vrai que, dans certains cas, il pourra être avantageux de faire l'examen dans une position renversée, ce que l'on obtient facilement, comme il est dit plus haut, en faisant passer l'épreuve droite à gauche et l'épreuve gauche à droite.

On peut ainsi examiner successivement les parties profondes et reconnaître certains détails qui auraient pu échapper à un examen unique. Mais ce procédé d'examen ne doit être employé qu'au point de vue qualificatif. Toutes fois qu'on voudra apprécier exactement les distances en profondeur qui séparent les divers plans et surtout les mesurer, il faudra disposer les épreuves de manière que l'objet virtuel ait la même orientation verticale que l'objet réel radiographié. Toute autre considération mise à part, il est toujours facile de reconnaître qu'il en est ainsi, puisque les parties profondes plus rapprochées de la plaque au moment de l'obtention des épreuves sont toujours beaucoup plus nettes que les parties superficielles.

Il est donc de toute nécessité, en radiographie, d'être exactement fixé sur la disposition à donner aux épreuves, c'est-à-dire sur les rapports de leurs bords.

Si l'on regarde le négatif obtenu par la face gélatine, on a évidemment

une perspective de l'objet. Mais il faut remarquer qu'après transport sur le papier positif, le plan de l'image a effectué une rotation de 180°. L'image positive est symétrique de l'image négative. Ce n'est donc plus la perspective de l'objet que l'on examine, mais celle d'un objet symétrique placé, ainsi que le point de vue, de l'autre côté de la couche sensible.

Il y aura souvent inconvénient à voir un objet symétrique. Il faudra alors reproduire en positif ce que l'on voyait en regardant le négatif par la face gélatine (1) et on tombe ainsi dans le cas de la photographie ordinaire. Les bords intérieurs des épreuves sont ceux qui étaient les plus éloignés du tube, si l'on suppose que celui-ci s'est trouvé successivement de chaque côté du centre de la plaque.

Si l'on se contente d'un objet symétrique, les épreuves positives sur papier pourront servir à l'examen. Mais comme elles ont individuellement tourné de 180° dans le transport, il ne faudra pas oublier que les bords intérieurs sont ainsi devenus extérieurs. Il faudra de nouveau les rendre intérieurs.

2° *Il faut que l'objet et son image soient vus sous le même angle.* — C'est une condition essentielle pour qu'une perspective soit vue correctement, même en dehors de la stéréoscopie. Il faudra donc que la distance de l'image à l'œil, comptée sur le chemin parcouru par le rayon lumineux émergeant normalement du plan des épreuves, soit égale à celle qui séparait le tube de la plaque, c'est-à-dire à P + D, si, comme on le fait généralement, l'objet reposait directement sur la plaque.

Si le stéréoscope employé nécessite une réduction des épreuves, ce n'est plus P + D qu'il faut considérer. Tout se passe comme si pour obtenir cette dernière perspective on avait laissé l'objet à la distance D, mais amené le plan du tableau à la distance D'. C'est à cette distance, facile à calculer, qu'il faudra placer les épreuves. Si nous désignons par l une dimension quelconque de l'image primitive, et par l' la dimension analogue de l'image rapetissée, on a :

$$\frac{D'}{D+P} = \frac{l'}{l} \quad \text{d'où : } D' = (D+P)\frac{l'}{l}.$$

3° *La distance des points principaux doit être égale à celle des yeux, et le pied de la perpendiculaire abaissée de l'œil sur le plan des images doit coïncider avec le point principal.* — Nous rappelons qu'on appelle point principal le pied de la perpendiculaire abaissée du point de vue sur le plan des perspectives.

Cette distance est comptée sur ce que l'on regarde, c'est-à-dire, dans la plupart des cas, sur une image virtuelle. Si le stéréoscope n'a que des lentilles, comme il n'y a pas de déplacement latéral, il faudra forcément que

(1) Un moyen simple consiste à faire des positifs sur verre et à les regarder par la face verre.

les images réelles aient elles-mêmes leurs points principaux à la distance des yeux. Cela nécessitera, dans la plupart des cas, une réduction. Les épreuves directement obtenues sont, en effet, nécessairement aussi grandes ou plus grandes que l'objet, et, en général, les dimensions de cet objet ne permettent pas ce rapprochement nécessaire.

Si l'appareil porte des miroirs, il y a un déplacement latéral ; la distance des points principaux, comptée sur les images réelles, pourra être quelconque, mais le réglage de l'instrument devra modifier cette distance sur les images virtuelles de façon à la rendre égale à celle des yeux : $6^{cm},6$ environ.

Il faut donc connaître la place des points principaux sur les épreuves. On peut, à la rigueur, l'indiquer par un repérage donnant la distance de chaque point principal aux deux bords de l'épreuve ; mais il est plus pratique, lorsque cela sera possible, de faire tomber les points principaux symétriquement, par rapport au centre de la plaque et sur un de ses axes. Ils sont alors à la distance $\frac{\Delta}{2}$ du centre de la plaque. Les épreuves étant placées symétriquement par rapport au milieu de l'appareil, et un réglage convenable ayant amené les points principaux à être distants de δ, ces derniers coïncideront forcément avec le pied de la perpendiculaire abaissée de l'œil sur le plan des images. Leur distance sera $a + \Delta$; a désignant la distance des bords correspondants des épreuves, Δ désignant comme précédemment l'écartement employé.

4° *Les lignes d'horizon principales des deux épreuves doivent coïncider*, si toutefois les deux perspectives ont été faites sur un même plan, ce que nous avons toujours supposé.

Nous appelons ligne d'horizon principale la trace que laisse sur le plan du tableau un plan qui lui est perpendiculaire et qui passe par les deux points de vue. Dans chaque épreuve, cette ligne passe par le point principal. Nous connaissons déjà la place de ce point principal. La direction de la ligne d'horizon étant celle du déplacement, il nous sera facile de la connaître, si nous avons fait celui-ci parallèle à un des bords de l'épreuve.

Ces conditions remplies, l'objet se reconstitue semblable à l'objet réel.

On a déjà vu que la distance de l'image et celle de l'objet ne sont égales que dans le cas d'une reconstitution grandeur naturelle, c'est-à-dire quand l'écartement Δ est égal à celui des yeux, en admettant que les épreuves soient examinées sans rapetissement. Dans tous les autres cas, $D + P$ est différent de d, distance des yeux à l'objet reconstitué.

Il s'ensuit que l'accommodation est réglée pour $P + D$, et l'angle de convergence des yeux, pour d. Or, dans le fonctionnement ordinaire des yeux à chaque valeur de l'angle de convergence est liée une valeur correspondante de l'accommodation. Donc, un œil non exercé regardant à la distance $D + P$, qui est celle des épreuves, accommodera aussi pour cette distance,

et, par suite, l'angle de convergence ne correspondra pas à d. Il faudra nécessairement interposer une lentille corrigeant convenablement l'accommodation. Les verres devront être convexes, si d est plus grand que $P + D$, concaves dans le cas contraire (1). Si la vue de l'observateur n'est pas normale, à ces verres viendront s'ajouter naturellement ceux qui la rendent normale. On pourra aussi employer un verre représentant la combinaison des deux. Il faut remarquer que s'il n'est pas possible de maintenir l'accommodation constante en faisant varier brusquement l'angle de convergence, il est ordinairement facile, après un entraînement convenable, de donner à l'accommodation et à la convergence des valeurs qui sont loin de se correspondre. La plupart des personnes peuvent même, après quelques minutes d'essai, examiner sans lentilles un objet reconstitué à une distance très différente de celle du plan des images.

On voit donc que le cas de la reconstitution grandeur naturelle sera la plus pratique au point de vue de l'examen, puisqu'il n'est pas nécessaire de s'encombrer de lentilles ou de s'entraîner préalablement.

Description des stéréoscopes. — Les clichés qu'on obtient dans les applications médicales des rayons X sont généralement de grandes dimensions. On ne peut pas songer à rapetisser les épreuves, parce que, d'une part, il en résulterait un gros supplément de travail et de dépense, et que, d'autre part, la précision des indications en souffrirait. Ces deux sortes d'inconvénients rendraient la méthode inutilisable en pratique. Dans ces conditions il faudra nécessairement, comme nous l'avons montré dans les notions générales de stéréoscopie, employer un stéréoscope pour examiner les épreuves. Cet appareil devra pouvoir être réglé de manière à ramener les points principaux des épreuves à la distance des yeux de l'observateur. Il faudra aussi (comme nous venons de le montrer dans l'étude des conditions générales d'examen des épreuves), que l'on puisse déplacer facilement les épreuves ou perspectives afin de faire coïncider les lignes d'horizon principales des deux épreuves. Nous allons donc faire un choix parmi les stéréoscopes, en prenant pour base les quatre conditions d'un examen correct, et en particulier, les deux que nous venons de rappeler.

En procédant ainsi, nous éliminerons immédiatement tous les stéréoscopes du commerce à prismes ou à lentilles qui ne sont pas réglables et ne permettent pas l'examen des épreuves de grandes dimensions. Les stéréoscopes formés de prismes à réflexion totale sont réglables, ils ne déforment pas les images, mais, malheureusement, ils ne permettent pas l'examen des épreuves 30/40 et au delà, que l'on fait communément.

Les seuls stéréoscopes que l'on puisse employer en radiographie sont donc finalement ceux qui sont formés uniquement de miroirs plans, parce qu'ils sont réglables, qu'ils ne déforment pas les images et, enfin, qu'ils

(1) Le numéro des lentilles sera donné par la formule : $n^o = \frac{d\,(D+P)}{[d-(D+P)]}\,2{,}7.$

peuvent être facilement construits, sans grosses dépenses, de manière à couvrir les épreuves de toutes dimensions. Parmi ces derniers nous signalerons particulièrement le stéréoscope de Wheastone et celui de Cazes.

Stéréoscope de Wheastone. — Il est formé de deux miroirs verticaux assemblés de manière à former un dièdre de 90°. En avant de ces miroirs est un écran percé de deux trous qui indiquent la position des yeux et ne laissent passer pour chacun d'eux que les rayons qui forment l'image correspondante. Les épreuves ou clichés à regarder sont placés latéralement sur des supports mobiles horizontalement et verticalement, de façon que la position soit réglée d'une manière exacte. Ce stéréoscope présente quelques inconvénients et en particulier celui de ne pouvoir servir pour la stéréométrie, les épreuves examinées étant séparées l'une de l'autre.

Pour cette raison, nous conseillons plutôt le stéréoscope suivant.

Stéréoscope de Cazes. — Il se compose de quatre miroirs métalliques, plans, deux grands et deux petits, parallèles deux à deux. Les deux grands miroirs peuvent glisser le long de deux supports, ce qui permet de faire varier leur distance aux deux autres et de connaître à chaque instant cette distance, grâce à une graduation en centimètres. On peut donc régler facilement l'appareil de manière que les épreuves placées en avant des miroirs sur une surface plane soient bien à une distance égale à la longueur principale et ramener, quelle que soit la grandeur des épreuves, les points principaux à la distance des yeux. Le modèle actuel permet d'examiner des épreuves ayant 40 centimètres de largeur et une hauteur pouvant dépasser 1 mètre, ce qui nous paraît suffisant. On pourrait, d'ailleurs, augmenter très facilement ces dimensions en agrandissant les miroirs, ce qui, pour des miroirs plans, est toujours facilement réalisable.

Dans tout ce qui suivra nous supposerons qu'on se sert du stéréoscope de Cazes.

Remarque. — Lorsqu'on veut remplacer les miroirs métalliques par des miroirs en verre, il faut argenter ceux-ci à leur surface libre si on veut éviter la double image que donne nécessairement un miroir argenté à la partie postérieure.

C. — Vérifications expérimentales

Nous avons cru devoir vérifier par l'expérience les diverses idées théoriques émises précédemment.

1° *Existence d'un maximum pour l'écartement.* — Les épreuves faites en employant les nombres inscrits dans les tables nous ont toujours donné d'excellents résultats. Le relief est exact, son intensité totale est maxima, et cependant l'œil parcourt facilement et sans fatigue les divers plans de l'objet reconstitué. D'autre part, divers essais ont été faits en dépassant les limites de l'écartement. L'examen de l'objet reconstitué a été toujours difficile ou impossible, suivant la grandeur de la différence entre l'écartement

employé et celui qu'on n'aurait pas dû dépasser. Nous signalerons parmi ces expériences les suivantes :

NATURE DE L'OBJET	ÉPAISSEUR	DISTANCE	ÉCARTEMENT EMPLOYÉ	ÉCART MAXIMUM	RÉSULTAT
	CM.	CM.	CM.	CM.	
Poumon de fœtus.	1.7	20	5.1		Reconstitution facile. Relief normal.
—	1.7	20	6.6	5.1	Reconstitution difficile. Relief trop intense.
—	1.7	25	3.4	5.1	Reconstitution facile. Relief moins intense que dans le premier cas.
Cerveau	5	25	3.5	3	Comme dans le deuxième cas.
Foie de fœtus.	3	20	3.5	3	Id.

La constance de l'intensité du relief total, quand la distance du tube à l'objet varie, l'écartement des points de vue restant maximum.

Cette constance est vérifiée par toutes nos expériences faites à des distances comprises entre 0m,15 et 0m,70, et en particulier par la série suivante :

NATURE DE L'OBJET	ÉPAISSEUR	DISTANCE	ÉCARTEMENT EMPLOYÉ	ÉCART MAXIMUM	RÉSULTAT
	CM.	CM.	CM.	CM.	
Poumon de fœtus.	1.7	20	5.1	5.1	Objet reconstitué agrandi. Relief normal.
—	1.7	22.8	6.6	6.6	Objet grandeur naturelle. Même relief.
—	1.7	30	11.2	11.2	Objet rapetissé. Même relief. Détails insuffisants.

§ 4. — Stéréométrie.

En suivant les règles que nous avons indiquées pour l'obtention et l'examen des perspectives radiographiques, on obtient un objet reconstitué qui est exactement semblable, comme forme et rapports de dimensions, à

l'objet réel radiographié. On peut donc apprécier avec exactitude les distances qui séparent les divers plans. L'exactitude de cette appréciation est d'autant plus grande que les distances sont elles-mêmes plus faibles, car il est évident que les erreurs d'appréciation sont liées directement aux distances qui séparent les divers points. Lorsque les distances deviennent relativement grandes, comme pour l'intérieur de la boîte cranienne et de la cage thoracique, l'évaluation peut devenir insuffisante. D'autre part, l'exactitude varie avec l'expérience de chaque observateur, et la critique d'évaluation, basée sur une simple appréciation, est toujours possible. Ces considérations nous ont amené à rechercher la possibilité de mesures en stéréoscopie. Nous avons déjà donné une première solution du problème (1) basée sur la superposition de deux couples stéréoscopiques, l'un de ces couples étant constitué par un réseau représentant l'appareil de mesure. Cette solution, intéressante au point de vue théorique, puisque c'était la première fois, à notre connaissance, qu'on réalisait des mesures en stéréoscopie, avait l'inconvénient d'être d'une application délicate. La méthode à laquelle nous sommes arrivés maintenant, et que nous allons décrire, est au contraire d'une application facile, bien qu'elle soit basée sur le même principe.

La stéréométrie a pour but la détermination de la position exacte dans l'espace d'un point quelconque d'un objet radiographié stéréoscopiquement. Cette détermination se fait au moyen de trois coordonnées du point considéré. Parmi ces trois coordonnées, l'une est verticale par rapport au plan du tableau ou plaque sensible en radiographie et sert, par conséquent, à connaître les distances qui séparent ces divers plans de front ou, en d'autres termes, la hauteur du point considéré au-dessus de la plaque, ou encore la distance verticale de deux points quelconques de l'objet. Les deux autres coordonnées sont dans un plan de front, c'est-à-dire dans un plan perpendiculaire à la coordonnée précédente ; elles peuvent être rectangulaires ou non entre elles. Par conséquent, la solution complète du problème général de stéréométrie comprend deux parties bien distinctes :

1° La détermination de la coordonnée verticale, c'est-à-dire la mesure des profondeurs ;

2° La détermination des deux autres coordonnées, c'est-à-dire les mesures dans un plan de front quelconque.

Pour plus de simplicité, nous examinerons successivement ces deux parties.

A. — Détermination de la coordonnée verticale ou mesure des profondeurs

Étant données deux perspectives d'un point A sur un même plan et connaissant comme éléments de ces perspectives :

(1) *Comptes rendus*, 8 août 1898.

1° La distance principale, c'est-à-dire la distance des points de vue (foyer producteur des rayons X) au plan du tableau (surface sensible) ;

2° L'écartement des points de vue (déplacement du tube) ;

3° La distance qui existe entre les deux perspectives du point en question, il est possible de savoir dans quel plan de front se trouve ce point A (ce plan de front étant caractérisé par sa distance aux points de vue ou au plan du tableau, si la ligne qui joint les points de vue est parallèle à ce dernier, ce que nous supposerons toujours dans la suite).

Il est facile d'établir la relation qui existe entre ces divers éléments et la distance du plan de front qui contient le point A, soit au plan du tableau, soit à la ligne qui joint les points de vue.

Pour cela, supposons le plan du tableau perpendiculaire au plan de la figure que nous allons construire et projetons normalement sur ce dernier plan : le plan du tableau, les points de vue, les points principaux, le point A, son plan de front et ses deux images. Supposons en outre que la ligne qui joint les points de vue est parallèle au plan de la figure.

Soient : xy la projection du plan du tableau ; PQ, celle du plan de front contenant A ; O et O′, celles des points de vue ; V et V′, celles des points principaux ; a et a', celles des images de A correspondant respectivement à O et à O′.

Soient, enfin, Δ l'écartement des points de vue ; f, la distance principale $= OV = O'V'$;

D_1, la distance du plan de front contenant A aux points de vue ;

P_1, la distance de ce plan de front au plan du tableau ;

e, la distance des deux images.

Les deux triangles semblables OAO′ et aAa' nous donnent dans le cas de la figure 273, c'est-à-dire quand le point H se trouve placé entre les points de vue et le plan du tableau, $D_1 = \frac{f\Delta}{\Delta + e}$.

Dans le cas de la figure 274, c'est-à-dire quand c'est le plan du tableau qui se trouve entre le point A et les points de vue : $D_1 = \frac{f\Delta}{\Delta - e}$.

C'est la relation précédente, dans laquelle e a simplement changé de signe (1).

Ces deux formules sont des cas particuliers de la formule générale (I) $D_1 = \frac{f\Delta}{\Delta - e}$ (si nous convenons que e soit positif quand aa' est compté dans le même sens que oo', et négatif quand il est compté en sens inverse).

Si l'on préfère considérer la distance P_1 du plan de front PQ au plan du tableau xy, on aura d'une manière générale (II) $P_1 = \frac{fe}{\Delta - e}$, à la condition

(1) Ce cas particulier pourra se rencontrer en radiographie, si l'on fait subir aux épreuves une réduction telle que les images sont devenues ce qu'elles auraient été si l'objet s'était trouvé derrière la plaque sensible et avait pu l'impressionner.

de déterminer comme précédemment le signe de e. Si P_1 est négatif, cela signifiera que le point A est situé de l'autre côté du plan du tableau par rapport aux points de vue.

La distance entre le plan de front contenant A et celui contenant un autre point A' sera donnée par :

$$\text{(III)}\ h = P_1 - P_1' = \frac{fe}{\Delta - e} - \frac{fe'}{\Delta - e'} = \frac{f\Delta(e - e')}{(\Delta - e)(\Delta - e')}.$$

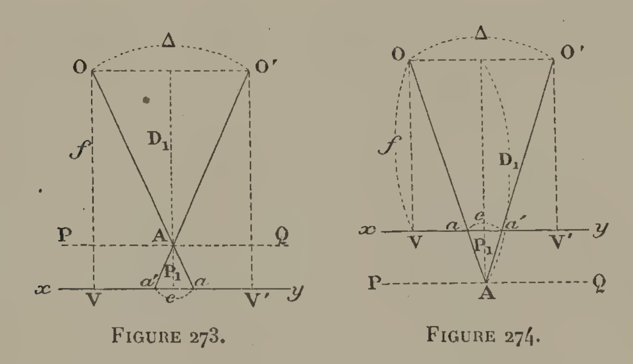


FIGURE 273. FIGURE 274.

Dans la pratique, les deux images a et a' sont sur des épreuves différentes. Comment alors apprécier la valeur de e?

Il est facile de voir que les relations précédentes n'ont de valeur qu'autant que les points principaux V et V' sont distants de la quantité Δ, écartement des points de vue, et que les lignes d'horizon principales coïncident. Or, nous remarquons que les deux images a et a' sont liées à leurs points respectifs V et V' et par conséquent qu'un déplacement des deux perspectives suivant une ligne d'horizon qui augmente d'une certaine quantité la distance VV' augmente de la même quantité la distance e (1). Il en sera de même pour un autre point B, dont la position par rapport à A est invariable, et si nous savons d'avance quelle doit être la valeur de e pour B, nous pourrons apprécier un changement dans cette valeur de e correspondant à B, et par conséquent dans e correspondant à A.

Une valeur de e bien connue est celle qui correspondra à un point B situé dans le plan du tableau, car nous aurons pour ce point $e = 0$. Si cette distance est devenue ε avec des épreuves différentes et que pour A nous trouvions E, nous saurons que, dans l'application des relations précédentes, nous devons remplacer e par $E - \varepsilon$.

$$\underset{\text{(I bis)}}{D_1 = \frac{f\Delta}{\Delta - (E - \varepsilon)}},\quad \underset{\text{(II bis)}}{P_1 = \frac{f(E - \varepsilon)}{\Delta - (E - \varepsilon)}},\quad \underset{\text{(III bis)}}{h = \frac{f\Delta(E - E')}{[\Delta - (E - \varepsilon)][\Delta_1' - (E' - \varepsilon)]}}.$$

(1) Il ne faut pas oublier que nous avons convenu que e est négatif quand il est compté en sens inverse de Δ.

Le problème pourra donc être résolu avec deux perspectives indépendantes, à condition que pendant les mesures on les juxtapose de façon que les lignes d'horizon principales soient dans le prolongement l'une de l'autre, et que l'on ait en même temps l'image d'un point situé dans le plan du tableau.

Remarque. — Pour appliquer les formules générales, il faut évidemment que les signes de ε et de E soient soumis aux conventions précédentes.

ε est forcément toujours positif.

E sera positif : 1° si (P étant la hauteur au-dessus de la plaque du point le plus élevé de l'objet) on écarte suffisamment les épreuves pour que ε soit plus grand que $\frac{P\Delta}{f - P}$, et 2° dans le cas où l'on fait l'écartement maximum des points de vue correspondant à P (l'objet reposant directement sur la plaque), si l'on a $\varepsilon > \frac{f}{50}$. En effet $\Delta \text{ max} = \frac{D(D + P)}{50 P}$, D désignant la distance des points de vue au premier plan de front de l'objet. Comme $f = D + P$, on a $\Delta \text{ max} = \frac{(f - P) f}{50 P}$, d'où $\frac{DP}{P - f} = \frac{f}{50}$; ce cas est, d'ailleurs, toujours réalisé dans la pratique radiographique.

Nous avons supposé jusqu'ici qu'on ne pouvait avoir aucun doute sur l'identification des images (perspectives) du point A dont on cherche la position dans l'espace. Or, il est bien rare dans la pratique radiographique d'avoir affaire à un point de l'objet dont les images soient assez nettes pour ne pas entraîner d'erreur dans la détermination de leur distance.

Il arrivera souvent que toute identification, même grossière, soit impossible. Il est facile d'en citer des exemples :

1° Cas typique d'une sphère à surface mate éclairée par une lumière diffuse. Les épreuves stéréoscopiques de cet objet examinées correctement nous donneront la vision parfaite d'une sphère dans laquelle nous pourrons apprécier, par exemple, le point de tangence de son premier plan de front, en d'autres termes le point de cette sphère qui est le plus rapproché de nos yeux. Mais que l'on cherche sur chaque épreuve isolée, dans le but d'une mesure, la place de l'image de ce point, et l'on s'apercevra que toute recherche est vaine ;

2° Prenons maintenant un exemple emprunté à l'anatomie. Supposons une portion du corps dont les artères ont été injectées. Nous chercherions en vain sur les deux radiographies les points qui se correspondent. Cela tient précisément à ce que les deux perspectives ne sont pas identiques ;

3° Les mêmes observations peuvent être faites en pathologie. Les formes d'un même organe étant différentes dans les deux épreuves, il n'est ordinairement pas possible de reconnaître les points qui se correspondent.

A notre avis, c'est là le principal inconvénient des méthodes purement géométriques. Il limite leur emploi à la détermination de la position des corps de forme régulière et parfaitement délimitée, principalement des corps étran-

gers métalliques. Même en se contentant d'une détermination point par point, on ne peut pas généraliser leur emploi en médecine.

Il semble donc que les cas où la méthode que nous avons décrite pourra s'appliquer seront de rares exceptions. Il n'en est rien, grâce à un artifice qui nous permettra d'identifier d'une façon absolue les images du point intéressant.

Superposons au couple de l'objet à mesurer le couple d'un objet très simple de forme, une ligne par exemple, et qui se reconstitue dans un même plan de front. Les épreuves stéréoscopiques de l'objet étant fixes l'une par rapport à l'autre, examinons cet ensemble au stéréoscope et, faisant mouvoir les images de la ligne, amenons la ligne virtuelle reconstituée à coïncider dans l'espace avec le point qui nous intéresse dans l'objet. Il est certain que chacune des images de la ligne couvre l'image correspondante du point dans l'épreuve stéréoscopique de l'objet. Il ne reste plus qu'à mesurer la distance existant entre les deux images de la ligne ; c'est celle des deux perspectives du point que l'on n'avait pas pu identifier auparavant.

Cet artifice permet d'étendre l'emploi des méthodes géométriques à tous les points d'un objet qui sont décelables par la radiographie, c'est-à-dire permet de transformer des méthodes applicables seulement dans des cas particuliers en méthodes générales.

Il est intéressant de remarquer que la déformation de l'objet par une vision incorrecte du stéréoscope n'a aucune influence sur la précision des mesures, car la vision stéréoscopique n'a d'autre but ici que de montrer que la ligne est bien à la place du point considéré. Cette remarque montre bien que le stéréoscope ne joue que le rôle d'un intermédiaire permettant la détermination exacte de la distance qui sépare les deux perspectives d'un point quelconque de l'objet.

Un couple stéréoscopique d'une ligne située dans un plan de front est facile à réaliser. Il suffira de prendre deux fils de couleur et épaisseur identiques, parallèles et montés sur un cadre permettant le rapprochement ou l'éloignement de ces deux fils qui représentent les deux perspectives d'un fil imaginaire. Leur mouvement d'ensemble et leur mouvement relatif auront pour effet d'amener dans l'espace le fil virtuel à l'endroit désigné de l'objet.

C'est en nous basant sur ces idées que nous avons fait construire un appareil représentant le couple d'une ligne et que nous appelons le *stéréomètre.*

Description du stéréomètre. — Deux fils noirs sont tendus chacun sur une potence métallique pouvant glisser, indépendamment l'une de l'autre, sur l'un des longs côtés d'un cadre de même nature de 60 centimètres de longueur sur 17 centimètres de largeur. Ce côté du cadre est divisé en millimètres, et chaque potence présente un vernier permettant de connaître à 1/20 de millimètre près la distance des deux fils, qui restent constamment parallèles entre eux dans leur déplacement. Ce déplacement des fils se fait d'abord grossièrement à la main; et l'on peut au moyen d'une vis de serrage

les fixer approximativement dans la position cherchée, puis, grâce à une vis de rappel, régler cette position avec précision.

Pour connaître la distance en profondeur de deux points de l'objet, on amènera, par le déplacement des lignes réelles, la ligne virtuelle à coïncider

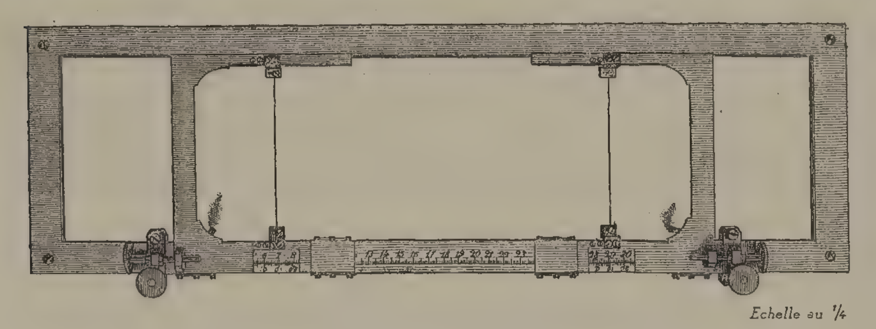


FIG. 275. — *Stéréomètre simple* donnant la coordonnée verticale d'un point de l'objet radiographié.

successivement avec ces deux points. Les valeurs de l'intervalle qui sépare les fils réels dans ces deux positions de la ligne virtuelle permettront de calculer la différence de profondeur des points examinés en se servant de la formule (III *bis*) établie plus haut.

On voit que, pour déterminer la distance en profondeur de deux points quelconques de l'objet, il suffit de faire deux lectures sur une table graduée, car les autres quantités ont été déterminées une fois pour toutes au moment de l'obtention des épreuves stéréoscopiques.

EXEMPLE. — La mesure suivante servira d'exemple et montrera le degré de précision de la méthode.

Deux lignes opaques parallèles et horizontales ont été radiographiées. La différence de niveau mesurée au cathétomètre était de $40^{mm},5$;

Le déplacement du tube a été de 50 millimètres ; la distance du point d'émission des rayons X à la plaque sensible, $414^{mm},3$;

Pour que la démonstration fût complète, la mesure a été faite sur les positifs sur papier.

Deux troncs d'aiguille placés sur une ligne d'horizon étaient distants de $115^{mm},7$. Après collage sur papier cette distance est devenue $117^{mm},9$; l'image s'est donc agrandie dans le rapport $\frac{117,9}{115,7}$; en d'autres termes, elle est devenue ce qu'elle aurait été si le plan du tableau avait reculé à la distance $f\frac{117,9}{115,7}$ (l'objet restant en place).

C'est $f\frac{117,9}{115,7}$ que nous porterons dans la formule à la place de f.

Ces deux épreuves sont juxtaposées de telle façon que les images de l'aiguille d'un côté des épreuves soient à la même distance que celle du bord opposé.

La position des équerres porte-fil correspond à :

		234mm,600
	et	109mm,725
Par différence	$\varepsilon =$	124mm,875.

Par déplacement des équerres, le fil virtuel est amené à la hauteur de chacune des lignes. — Plusieurs déterminations sont faites sur chaque ligne pour obtenir une moyenne.

Pour l'une des lignes les positions des équerres sont :

1re détermination.......	233,725		
	110,000		
		E = 123,725	
2e détermination.......	230,825		
	107,125		
		E = 123,700	
3e détermination.......	236,700		Moyenne = 123,694
	113,000		
		E = 123,700	
4e détermination.......	242,225		
	118,575		
		E = 123,650	

Pour l'autre :

1re détermination.......	239,650		
	121,575		
		E' = 118,075	
2e détermination.......	226,550		
	108,400		Moyenne = 118,118
		E' = 118,150	
3e détermination.......	217,900		
	99,775		
		E' = 118,125	

Introduisons ces valeurs dans la formule (III *bis*) en remarquant que, puisque la distance des points principaux, qui est d'ailleurs celle des points de repère, est supérieure à $\frac{414,3}{50} = \frac{f}{50}$, toutes ces valeurs sont positives, et multiplions par le rapport $\frac{117,9}{115,7}$, à cause de l'allongement du papier.

$$h = \frac{414,3 \times 50 \times (123,694 - 118,118) \times 117,9}{(50 - 123,694 + 124,875)\,(50 - 118,118 + 124,875)\,115,7} = 40^{mm},52.$$

Si, au lieu d'introduire la moyenne de détermination, nous avions introduit les plus mauvaises, nous aurions obtenu comme résultat avec :

$$123,725 \quad \text{et} \quad 118,075 = 41^{mm},05,$$
$$123,650 \quad \text{et} \quad 118,125 = 40^{mm},12,$$

ce qui fait une erreur d'un demi-millimètre.

En d'autres termes, l'appréciation de la coïncidence du fil et du point considéré se fait à un demi-millimètre près.

B. — Détermination des deux autres coordonnées ou mesures dans un plan de front quelconque de l'objet reconstitué

La mesure de la coordonnée verticale d'un point quelconque, c'est-à-dire sa hauteur au-dessus de la plaque sensible, se fait avec la plus grande rapidité. Le stéréomètre que nous avons décrit est de construction peu coûteuse, par conséquent notre méthode de stéréométrie se présente déjà dans des conditions de simplicité et de précision qui en font une méthode vraiment pratique au point de vue des applications médicales.

Très souvent la seule détermination de la coordonnée verticale suffit. En effet, il est toujours facile de repérer exactement l'objet radiographié par rapport à la plaque photographique sur laquelle il est placé ; comme l'examen stéréoscopique simple donne déjà de précieuses indications sur les rapports entre elles des diverses parties de l'objet, la connaissance de la hauteur du point examiné au-dessus de la plaque viendra compléter ces indications, d'autant plus que c'est dans le sens des différences de hauteur que l'œil apprécie le moins exactement. Il est certain, en effet, que dans un plan de front, c'est-à-dire dans un plan parallèle à la ligne qui joint les yeux, l'appréciation se fait avec le maximum d'exactitude.

Cependant, pour éviter toute critique et supprimer complètement l'indécision qui résulte de l'appréciation visuelle, même limitée à un plan de front, nous allons montrer comment on peut faire des mesures dans ce plan de front, de façon à arriver à la détermination exacte de la position dans l'espace d'un point quelconque d'un objet radiographié stéréoscopiquement.

Première position. — *Lorsqu'on fait glisser les deux fils du stéréomètre au contact des clichés en laissant fixe l'intervalle qui les sépare, la ligne virtuelle à laquelle ils donnent naissance pendant l'examen stéréoscopique se déplace dans un plan de front, c'est-à-dire dans un plan parallèle au plan des clichés.* — Soient O et O′ les deux points de vue; a et b, les perspectives d'un point A (fig. 276).

Déplaçons le point A suivant la ligne parallèle à OO′, de manière à l'amener en un point quelconque de cette ligne, par exemple en A′. Les points a et b se déplaçant parallèlement aussi à OO′ viennent en a et b'. Il est facile de montrer que la distance $ab = a'b'$.

En effet, dans les triangles OO′A, et abA, on a $\frac{OO'}{ab} = \frac{H}{h}$, et dans les deux triangles OO′A′ et $a'b'$A′, $\frac{OO'}{a'b'} = \frac{H}{h}$, d'où $\frac{OO'}{a'b'} = \frac{OO'}{ab}$; d'où, enfin, $ab = a'b'$.

Réciproquement, si les deux points a et b se déplacent dans un plan parallèle à OO′, de manière que la distance qui les sépare reste toujours

constante, le point A auquel ils donnent naissance, dans l'examen au stéréoscope, se déplacera dans un plan parallèle aussi à OO′, c'est-à-dire dans un plan de front.

Ce qui est vrai pour deux points est vrai aussi pour deux séries de points, c'est-à-dire pour les deux fils du stéréomètre, pourvu qu'ils se déplacent perpendiculairement à la ligne d'horizon principale, c'est-à-dire perpendiculairement à la ligne des points de vue.

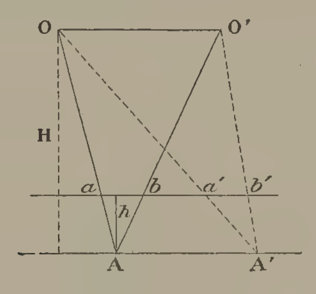


FIGURE 276.

Il en résulte que si, pendant l'examen au stéréoscope, on fait glisser le stéréomètre sur les deux plaques, de manière que les deux fils restent bien à leur contact, la ligne virtuelle à laquelle ils donnent naissance se déplacera dans l'intérieur de l'objet virtuel reconstitué suivant un plan et, par conséquent, les différents points avec lesquels elle coïncidera dans son déplacement seront situés dans ce plan de front.

REMARQUE. — Les points rencontrés par la ligne virtuelle dans son déplacement sont, les uns, intérieurs, les autres extérieurs. Les points intérieurs sont ordinairement représentés par des parties d'os nettement délimitées. Leur position étant ordinairement fixe, ils constituent d'excellents points de repère. Cependant, pour les applications chirurgicales, les points de repère cutanés sont préférables, car ils peuvent être placés dans la région que le chirurgien a choisie pour intervenir. Pour être réellement utile, il faut que ces points de repère soient d'une reconstitution stéréoscopique facile. Nous nous servons d'un fil de plomb de coupe-circuit avec lequel on fait des ondulations irrégulières et que l'on fixe sur la peau avec quelques gouttes de collodion. L'opération exige à peine quelques minutes, et le fil reste fixé aussi longtemps qu'on peut le désirer. La présence de ce fil prouve deux avantages : par sa netteté, il aide à la reconstitution stéréoscopique de l'objet ; cet avantage est surtout appréciable pour les régions du corps qui ne donnent que des ombres mal délimitées ; d'autre part, si on le dispose convenablement tout autour de l'objet, il présentera toujours au moins deux points qui seront dans le même plan de front que le point considéré. Ces points de repère seront déterminés par leur coïncidence avec la ligne virtuelle. La coordonnée verticale étant déterminée au moyen du stéréomètre, par le procédé déjà décrit, pour connaître la position exacte dans l'espace du

point considéré, il suffira donc de déterminer certaines relations de distances de ce point aux repères situés dans le même plan de front. C'est le but de la deuxième proposition.

Deuxième proposition. — *Relations de distance entre les points de repère et le point considéré.* — Pour résoudre le problème, on peut utiliser deux procédés : mesurer les distances de deux points de repère au point considéré ou, plus simplement encore, se servir d'un seul des points de repère, mais en ayant soin alors de déterminer les distances du point considéré à deux

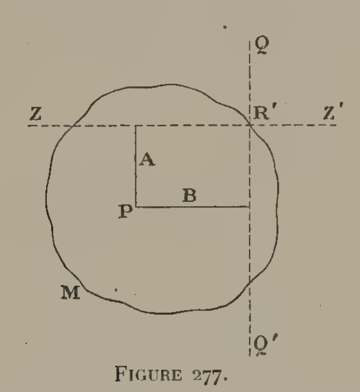


Figure 277.

plans verticaux perpendiculaires entre eux et passant par le point de repère. Pour simplifier, nous choisissons les plans parallèle et perpendiculaire aux lignes d'horizon et, par suite, de direction parfaitement connue.

1° *Utilisation d'un seul point de repère.*—Dans la figure 277, M est l'image de la ligne ondulée, R′ celle du doint de repère R, situé dans le même plan de front que le point considéré P, dont l'image est P′ ; ZZ′ et QQ′ sont les traces de deux plans passant par R et le point de vue correspondant à cette perspective, traces perpendiculaires ou parallèles aux lignes d'horizon ; A et B sont données immédiatement par la valeur du déplacement du stéréomètre (sans modification de l'écartement des fils) dans les deux directions rectangulaires, à condition toutefois que la coïncidence de l'image du point de repère et de l'image du point considéré ait lieu en un même point des fils réels. On y arrive facilement en disposant des nœuds ou des traits de couleur en divers points des deux fils, mais à égale distance des extrémités.

Il est à remarquer que les distances A et B correspondent aux déplacements des fils du stéréomètre, glissant aux contacts des deux épreuves négatives ou positives, et, par conséquent, aux distances qui séparent les projections énumérées. Pour en déduire les distances vraies dans l'espace du point P *aux deux plans verticaux*, il suffira d'exprimer les relations de deux triangles semblables.

Projetons verticalement les systèmes de points et de lignes suivant la direction des lignes d'horizon. Soient :

O″, la projection verticale d'un des points de vue ;

R″, la projection verticale du point de repère R ;

P″, la projection verticale du point P;
R′ et P′, la projection de leurs images ;
TT′, la projection du plan du tableau.
O″R′ } les projections des plans passant par le point de vue O et les
O″P′ } points R et P. La distance mesurée directement est R′P′ = A.

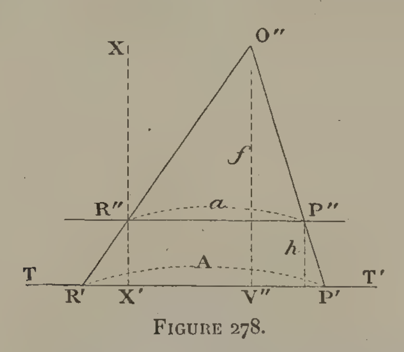


Figure 278.

Soient O″V″ = ff, la hauteur du point de vue au-dessus du plan du tableau ; h, la hauteur du point R au-dessus de ce plan. Les deux triangles semblables R″O″P″ et R′O″P′ donnent :

$$\frac{a}{f-h} = \frac{A}{f}, \text{ d'où } A = \frac{A(f-h)}{f}.$$

On aurait de même :

$$b = \frac{B(f-h)}{f}.$$

Dans ces formules, f, la hauteur du point d'origine des rayons X à la surface sensible, est notée une fois pour toutes au moment de l'obtention des épreuves.

h, la hauteur du plan de front dans lequel on fait les mesures, a été déterminée par le procédé décrit précédemment. Par conséquent, toutes les quantités sont connues, et la résolution des deux équations donne a et b.

Description du stéréomètre modifié. — Il faut que l'appareil, en dehors de la détermination de la coordonnée verticale, permette de connaître facilement A et B, qui ne sont autre chose que les composantes rectangulaires du mouvement P′R′.

Cet appareil se compose d'un cadre rigide qui peut glisser sur deux règles métalliques parallèles fixées par leurs extrémités sur le châssis porte-épreuves. Le cadre porte les deux équerres munies du fil noir dont nous avons indiqué l'emploi en parlant du stéréomètre simple. Ces deux fils sont munis chacun vers le milieu d'un repère identique de forme et de position et que l'on fait coïncider successivement avec les divers points sur lesquels portent les mesures. Ces équerres, reliées l'une à l'autre par une tige filetée, possèdent deux sortes de mouvements :

a) Un mouvement d'ensemble par rapport au cadre qui les supporte ;

b) Un mouvement de rapprochement ou d'éloignement d'une de ces équerres par rapport à l'autre. La graduation placée sur la branche infé-

rieure du cadre donne les valeurs de ces mouvements à 1/20 de millimètre près (en se servant des verniers des équerres, comme dans le stéréomètre ordinaire). Le déplacement du cadre sur les règles latérales est donné par une graduation en millimètres portée sur la règle droite.

2° *Utilisation de deux points de repère* R *et* S *situés dans le même plan de front que le point considéré.* — Les distances du point P aux deux points de repère définissent sa position, en supposant connue sa coordonnée verticale.

Ces distances seront calculées avec les données fournies par l'appareil déjà décrit. Ce sont les résultantes des deux mouvements rectangulaires mesurés.

$\sqrt{A^2 + B^2}$ pour le point R ; $\sqrt{C^2 + D^2}$, pour le point S, dont les deux coordonnées rectangulaires sont C et D.

Remarque. — Pour obtenir et examiner les clichés, on doit suivre les règles que nous avons énumérées précédemment. Elles sont simples, mais elles doivent être suivies avec la plus grande rigueur. Nous insisterons surtout sur la coïncidence des lignes d'horizon principales des deux clichés.

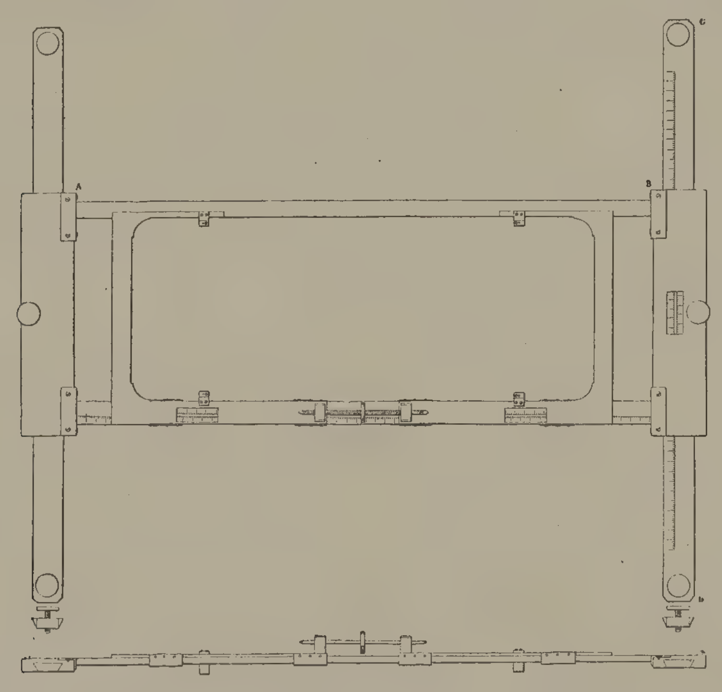


Fig. 279. — *Stéréomètre modifié*, donnant les valeurs des trois coordonnées rectangulaires d'un point quelconque de l'objet radiographié (1).

Dès que cette coïncidence n'est plus réalisée, la ligne virtuelle ne se déplace plus dans un plan de front. Elle se déplace dans un plan oblique qui fait avec le plan de front un angle dont la valeur dépend de la position des

(1) La figure supérieure représente l'appareil vu de face non muni de ses deux fils. La figure inférieure représente l'appareil vu de profil.

lignes d'horizon. Pour réaliser cette coïncidence, nous avons conseillé de placer une aiguille sur chaque bord du châssis parallèlement au déplacement du tube. Il est préférable de prendre un fil de plomb irrégulièrement ondulé dont les deux extrémités sont sur une ligne perpendiculaire au bord du châssis. La reconstitution stéréoscopique d'une ligne irrégulièrement ondulée se fait toujours d'une manière plus précise que celle d'une ligne droite. Il suffit, au moment de commencer l'examen, de vérifier au moyen des deux fils mobiles du stéréomètre que les projections sont à égale distance l'une de l'autre.

Vérifications. — La méthode précédente a été appliquée à toutes les parties du corps de l'homme adulte :

1° Mollet avec balles et fractures ;

2° Cuisse avec deux balles ;

3° Articulation du genou ;

4° Crâne sec et tête de cadavre avec balles en divers points, grains de plomb dans l'œil et en dehors de l'œil, dans l'orbite ;

5° Thorax et épaule avec une balle à l'intérieur de la cage thoracique.

La vérification de l'exactitude des mesures a été faite de deux manières différentes :

1° Au point de vue clinique. Dans la cage thoracique du cadavre d'une femme adulte, on a enfoncé une balle à une profondeur connue à partir d'un fil de plomb collé sur le sternum, et, en outre, on a déterminé la distance de cette balle aux deux points de la ligne de repère situés au même niveau. D'autre part, ces distances ont été déterminées par la méthode précédemment exposée, et la concordance a été des plus satisfaisantes ;

2° Au point de vue géométrique pur. Les vérifications précédentes étaient surtout destinées à montrer que notre méthode pouvait être appliquée facilement aux diverses parties du corps. Celle-ci est plus particulièrement destinée à vérifier sa précision.

Pour cela, sur une planche inclinée de 30° à peu près sur le plan des plaques sensibles, on a disposé le fil ondulé servant de ligne de repère et à une certaine hauteur deux morceaux d'épingle croisés. Au moyen du cathétomètre, on a déterminé la hauteur de ce croisement d'aiguilles au-dessus de la plaque, et la position des deux points de la ligne de repère situés au même niveau ; on a trouvé :

Hauteur : $10^{cm},8$;

Distances horizontales : $12^{cm},9$ et $17^{cm},3$.

Ces mêmes distances, déterminées au moyen de notre méthode, ont été :

Hauteur : $10^{cm},8$.

Distances horizontales : 13 centimètres et $17^{cm},4$.

Remarque. — Il est très important de remarquer que cette théorie de la radiographie stéréoscopique et de la stéréométrie a été établie sans aucune hypothèse et surtout sans qu'il ait été nécessaire de faire intervenir celles qui concernent la physiologie de l'œil. Il est facile de le montrer par un résumé succinct.

1° Bases de la théorie :

A. Loi des perspectives géométriques $\frac{D}{d} = \frac{\Delta}{\delta} = \frac{P}{p}$;

B. Mesure expérimentale faite par M. Cazes de la limite moyenne de l'indépendance entre l'accommodation et l'angle de convergence ;

2° Les formules qui ont été établies en partant de ces deux données ont été vérifiées de deux manières différentes :

A. Directement, en employant des écartements supérieurs ou inférieurs à ceux que contiennent les tables ;

B. Par les nombreuses applications que nous avons faites depuis quatre ans en employant les chiffres calculés. L'examen de l'objet reconstitué a toujours été aussi facile pour les premiers plans de front que pour les derniers, et quand la netteté des premiers plans est devenue insuffisante, c'est simplement parce que, en raison de l'épaisseur de l'objet, ces premiers plans se sont trouvés trop éloignés de la plaque sensible pour que leurs perspectives soient nettes. Au contraire, la radiographie stéréoscopique permet d'aller plus loin que la radiographie simple, parce que beaucoup de détails indistincts, lorsqu'ils étaient superposés sur la même épreuve, le deviennent lorsqu'ils reprennent leurs places dans l'espace en des points qui ne sont plus identiques;

3° Dans la méthode de mesure proposée, le stéréoscope ne joue que le rôle d'un intermédiaire permettant de connaître exactement, et dans tous les cas, la distance qui sépare les deux perspectives d'un même point.

§ 5. — **Technique expérimentale.**

Lorsqu'on aborde pour la première fois l'étude de la radiographie stéréoscopique, on est tout disposé à la considérer comme complexe et difficilement applicable. En réalité, cette complexité n'est qu'apparente, et, pour l'appliquer, il suffit de retenir un certain nombre de règles faciles. On ne saurait trop insister sur ce point : la stéréoscopie est ordinairement mal comprise, au moins sous sa forme générale. On se sert à peu près uniquement de la reconstitution grandeur naturelle correspondant à un écartement égal à celui des yeux. Or, ce cas particulier est assez rarement applicable en radiographie stéréoscopique, et il est toujours préférable de se servir de la table générale I, qui contient ce cas particulier et qui fournit une solution dans tous les cas. C'est ce que nous nous efforcerons de montrer dans ce chapitre consacré à la technique expérimentale.

A. — Matériel

Obtention des épreuves. — Nous avons déjà signalé dans la partie historique le procédé opératoire employé par MM. Imbert et Bertin-Sans, et la modification que lui avait fait subir M. Destot.

(1) Chabaud, Stéréoscopie radiographique, *Annales d'Électrobiologie*, 1899.

Plus récemment, M. Chabaud (1) a décrit un matériel complet pour la radiographie stéréoscopique. La partie destinée à l'obtention des épreuves se compose d'une planchette horizontale dans laquelle glisse, à frottement doux, un tiroir. Le tiroir contient une série d'intermédiaires pouvant recevoir des plaques photographiques de divers formats en permettant de les orienter en longueur et en largeur par rapport au sujet à radiographier. Des traits tracés sur la planchette correspondent exactement aux divers intermédiaires qui sont dans le tiroir.

La planche reçoit à ses extrémités deux tiges sur lesquelles glisse, sur toute la hauteur, une tige transversale qui, cylindrique à ses extrémités, présente au centre, sur une certaine longueur, une section carrée. Cette partie centrale est divisée ; elle reçoit deux curseurs munis de vis de pression et un curseur central armé lui-même d'un coulisseau. Une pince à longue tige coule dans le coulisseau, et sur cette tige vient se fixer une deuxième pince mobile sur son axe. On peut ainsi orienter un tube quelconque suivant une direction quelconque.

Le matériel dont nous nous servons pour l'obtention des épreuves est un peu différent des précédents. Partant de cette idée générale que l'appareillage doit être aussi simple que possible et applicable dans tous les cas, et que, d'autre part, il est toujours plus commode d'adapter l'appareillage au malade que le malade à l'appareillage, nous avons rendu celui-ci indépendant en ses diverses parties. Pour porter le tube, nous nous servons du support en bois employé ordinairement en radiographie. La direction du déplacement et l'écartement entre les deux poses sont donnés au moyen d'une règle métallique avec vernier au 1/10 de millimètre fixée à la table au moment de l'opération et le long de laquelle glisse le pied du support. Pour porter les plaques, nous nous servons de simples châssis en bois ouverts sur le côté, que l'on glisse au moment voulu sous la région du corps que l'on doit radiographier. En résumé, en dehors du matériel, il suffit de posséder une règle graduée en fractions de millimètre, de 50 à 60 centimètres de longueur, pour obtenir correctement des épreuves de radiographie stéréoscopique. Pour l'obtention des couples qui doivent servir à des mesures de profondeur, il est nécessaire d'atteindre le 1/10 de millimètre (par exemple avec un vernier) si l'on veut appliquer la méthode avec toute sa précision. Pour les opérations ordinaires, nous nous servons simplement d'une règle en bois sur laquelle nous avons fait coller une de ces divisions au demi-millimètre que vendent tous les papetiers.

Le matériel qui vient d'être décrit est le plus simple. Il peut être réalisé immédiatement par tous les radiographes. On peut, dans la pratique, lui faire subir toutes sortes de modifications ; par exemple, le tube producteur de rayons X peut être mû par un dispositif analogue à ceux qu'emploient MM. Guilleminot et Béclère. Chacun peut faire un dispositif à sa convenance. Il suffit de ne pas se départir de cette règle que le déplacement fait suivant un des côtés des plaques sensibles doit être exactement mesuré.

Examen des épreuves au stéréoscope. — Pour la radiographie ordinaire, il est utile d'avoir un pupitre dont la partie supérieure est formée par une glace éclairée en dessous par la lumière diffuse. Pour adapter ce pupitre à l'examen des épreuves stéréoscopiques, il suffit de lui faire subir les modifications suivantes :

1° Donner à la partie utilisable de la glace une hauteur de 30 centimètres et une largeur de 60 centimètres, afin de pouvoir examiner toutes les dimensions d'épreuves jusqu'au 30/40 en hauteur. Cette grandeur suffit à peu près toujours. La dépasser ce serait alourdir considérablement le pupitre. Dans les cas très rares où on est obligé d'examiner du 30/40 en largeur ou du 40/50 en hauteur, il suffirait de les faire supporter, soit par des aides, soit par une ficelle placée en travers et de les éclairer à la lumière solaire diffusée. Il n'est jamais nécessaire de dépasser cette largeur de 40 centimètres, car la partie intéressante du corps humain dans une vue d'ensemble ne la dépasse pas.

2° Rendre mobile une moitié du bord inférieur du cadre, afin de pouvoir élever ou abaisser une des épreuves ou bien l'incliner de droite à gauche et *vice versâ*. Il suffit pour cela de la supporter à ses deux extrimités par deux vis indépendantes. Le pupitre que construit M. Chabaud présente une disposition analogue, mais qui permet seulement les mouvements d'élévation et d'abaissement. Il nous semble qu'il y a là une lacune. En raison du jeu qu'on laisse nécessairement aux plaques dans les châssis, ces mouvements d'inclinaison sont indispensables dans l'examen des négatifs pour mettre les lignes d'horizon dans le prolongement l'une de l'autre. Ils le sont encore plus dans l'examen des positifs sur verre et des positifs sur papier, parce que, dans le tirage, on obtient difficilement la superposition exacte du négatif par l'épreuve positive.

Le stéréoscope Cazes, formé simplement de 4 miroirs disposés deux à deux parallèlement, se trouve dans le commerce à un prix relativement peu élevé. Il est bon de choisir le modèle dans lequel toute la partie optique peut être inclinée d'une manière variable autour d'un axe qui, lui-même, peut être placé plus ou moins haut grâce à une coulisse existant dans le pied de l'appareil. Ce dispositif permet soit d'examiner les négatifs et positifs sur verre de grandeur variable placés sur le pupitre, et cela dans de bonnes conditions, c'est-à-dire de manière que le pied de la perpendiculaire abaissée sur le plan des épreuves coïncide avec le point principal.

Mesures de distances. — Le pupitre précédent peut servir ; il suffit, par conséquent, de se procurer l'appareil de mesure, le stéréomètre. Le modèle que nous avons décrit permet les mesures au demi-millimètre près. Si l'on n'a pas besoin de cette précision, et le cas se présente fréquemment en clinique, on peut simplifier beaucoup la construction de cet appareil. Nous avons fait tous nos essais de mesures de profondeur avec un modèle rudimentaire composé de deux cadres en bois ayant seulement trois côtés et pouvant rentrer l'un dans l'autre. Chaque cadre portait un fil, et le plus

long cadre une règle graduée en demi-millimètres. Les résultats obtenus étaient très satisfaisants.

B. — Opération

Elle comprend nécessairement trois parties : obtention des épreuves, examen au stéréoscope, mesure des profondeurs.

1° **Obtention des épreuves**. — On dispose le malade le plus commodément possible sur une table, et on glisse sous la région à examiner un châssis contenant une plaque photographique de grandeur appropriée. Le tout doit être parfaitement immobile. Cela fait, on fixe la règle graduée, qui doit donner la direction du déplacement des points de vue, parallèlement à un des bords du châssis. Si les épreuves doivent être examinées en largeur, elle devra être parallèle au grand côté ; si elles doivent être examinées en hauteur, c'est-à-dire si on veut au moment de l'examen au stéréoscope placer les épreuves à côté l'une de l'autre en mettant au contact leur plus grand côté, la règle devra être parallèle au petit côté de la plaque sensible. On met le pied support du tube bien en contact avec la règle et on mesure la hauteur D du miroir positif du tube au-dessous de l'objet. D'autre part, on mesure l'épaisseur P de l'objet. La table à double entrée donne immédiatement Δ, l'écartement des points de vue correspondant. On fait glisser le support du tube le long de la règle graduée, jusqu'à ce ce que la verticale du miroir positif du tube tombe à une distance $\frac{\Delta}{2}$ du centre de l'objet. On fait une première radiographie dans ces conditions. On change la plaque et on fait une nouvelle radiographie après avoir fait glisser le support de façon que la projection du miroir positif se fasse maintenant de l'autre côté du centre et à la même distance.

Les trois quantités D, P et Δ doivent être notées ; elles servent pour le réglage du stéréoscope et la stéréométrie.

Nous venons de donner un exemple de la marche générale à suivre pour l'obtention des radiographies stéréoscopiques. Si l'on voulait appliquer le cas particulier d'une reconstruction grandeur naturelle qui correspond à un écartement des points de vue égal à celui des yeux, $6^{cm},6$ en moyenne, on mesurerait l'épaisseur maxima de l'objet et on chercherait dans la table II la distance D à laquelle il faut se placer pour que cet écartement de $6^{cm},6$ devienne un écartement maximum. Puis, connaissant les trois quantités D, P et Δ, on opérerait comme précédemment. On amènerait le miroir positif du tube de manière que sa verticale tombe à $3^{cm},3$ au delà du centre, et on ferait une radiographie dans ces conditions. Puis, après avoir changé de plaque, on déplacerait le support du tube de manière que la projection du miroir positif se trouve à la même distance de l'autre côté du centre, et on ferait la deuxième radiographie.

Ainsi que nous l'avons fait remarquer déjà, il vaut mieux employer la

marche générale et la table I, qui comprend aussi ce cas particulier de la reconstitution grandeur naturelle. Si nous avons examiné à part, c'est parce que beaucoup de personnes, et cela à tort, n'en admettent pas d'autres.

2° **Examen des épreuves au stéréoscope.** — Nous supposons que l'on se sert du stéréoscope Cazes, qui est bien supérieur à tous les autres, surtout pour l'examen des grandes épreuves communément employées en radiographie stéréoscopique.

Nous aurons trois cas à examiner : 1° négatifs sur verre ; 2° positifs sur verre ; 3° positifs sur papier. Supposons d'abord que l'on examine les négatifs obtenus dans l'opération précédente. On les met sous le pupitre, à côté l'un de l'autre. On dispose le stéréoscope au devant, de manière que les clichés soient symétriques par rapport au pied. Par un réglage convenable, on amène les points principaux à être distants de $6^{cm},6$. D'ailleurs, la formule suivante, due à M. Cazes, $\frac{\varphi + \Delta - \delta}{2}$ donne directement la distance qu'il doit y avoir entre les miroirs mobiles et les miroirs fixes pour que les points principaux soient à leur place dans l'image virtuelle (φ désignant la distance du bord d'une épreuve au bord correspondant de l'autre épreuve).

Ce réglage du stéréoscope étant ainsi établi, on fait subir à l'un des clichés de petits mouvements d'élévation et d'abaissement ou de rotation à droite et à gauche jusqu'à ce que la reconstitution ait lieu. A ce moment, les lignes d'horizon des deux épreuves sont sensiblement parallèles, et l'on peut procéder à l'examen. Les couches les plus nettes doivent être les plus profondes, sinon on ferait passer l'épreuve de droite à gauche, et *vice versâ*. Il est d'ailleurs souvent utile de faire successivement l'examen des parties superficielles et des parties profondes au moyen de cette transposition d'épreuves.

Avec les positifs sur verre, on opère de même, mais en ayant soin de tourner la face verre vers l'observateur.

Les positifs sur papier doivent être collés sur verre si l'on veut que l'objet virtuel examiné ne subisse pas de déformation.

L'épreuve devra occuper toute la surface du verre. S'il n'en est pas ainsi, il faudra tenir compte de la largeur de la bordure dans le réglage du stéréoscope. Il ne faudra pas oublier qu'avec les épreuves sur papier, on voit un objet symétrique de l'objet réel radiographié.

A part ces particularités, l'examen se fait comme précédemment.

3° **Stéréométrie.** — Aux conditions expérimentales que nous avons étudiées plus haut et qui doivent être suivies dans toute opération stéréoscopique, nous devons en ajouter quelques autres, qui sont spéciales aux mesures et qui sont nécessaires pour que la méthode ait toute sa précision.

1° En même temps que l'objet à étudier, il faudra radiographier certains repères situés sur la plaque elle-même ou du moins aussi rapprochés d'elle que possible, c'est-à-dire n'en étant distants que de l'épaisseur du papier qui sert à protéger la plaque.

Ces repères doivent être absolument fixes par rapport à l'objet à étudier, et il est nécessaire que leur image soit d'une grande netteté. Nous nous servons habituellement de petits morceaux de fil de plomb employé pour les coupe-circuits électriques, que l'on plisse irrégulièrement et que l'on fixe sur l'enveloppe immobile de la plaque au moyen d'une goutte de collodion. Pour répondre à tous les cas particuliers, il faut en mettre quatre, deux à chaque bout, en les dirigeant perpendiculairement, comme l'indique la figure schématique ci-dessous.

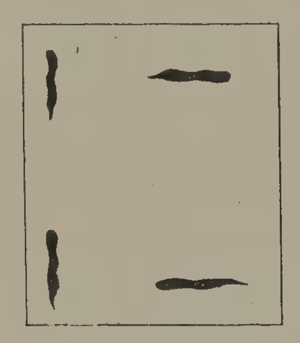


FIGURE 280.

Ils servent à faire coïncider les lignes d'horizon des deux épreuves et à déterminer E au moyen du stéréomètre.

2° Il est nécessaire de connaître avec précision la distance du point d'émission des rayons X à la plaque et le déplacement du tube.

Pour connaître cette dernière valeur, il suffira de glisser le pied du support du tube devant une règle divisée en millimètres ; un vernier permettra d'apprécier le 1/10 de millimètre, précision bien suffisante. La distance du point d'émission des rayons X est pour ainsi dire impossible à déterminer directement avec précision, mais il suffira de faire au préalable, et une fois pour toutes, une opération de mesure sur un objet de dimension connue pour déterminer la position du foyer à ce moment en appliquant la formule donnée par laquelle f devient l'inconnue. On marquera cette valeur sur la tige du support, et à partir de ce point, on la graduera en millimètres.

Il est bien évident que, pour que cette graduation donne dans les opérations suivantes la valeur f, il faudra qu'aucune des autres conditions n'ait changé. Les plaques doivent se placer toujours à la même hauteur, et le tube ne doit pas bouger dans son support.

3° Il ne faudra pas oublier que les dimensions des images sur papier sont différentes de celles du négatif, par suite d'une distension du papier pendant le collage, et que, par conséquent, les mesures faites seront erronées, si on ne les corrige convenablement. Pour faire cette correction, il faudra au préalable déterminer l'allongement du papier, ce qui est facile à faire en déterminant, d'abord sur l'épreuve sortant du châssis, puis sur l'épreuve définitive, la distance de deux points de repère. En multipliant,

dans chaque cas, la mesure obtenue par le rapport de ces deux distances, on obtiendra la *mesure exacte*.

On place le stéréomètre sur les épreuves et on déplace celles-ci jusqu'à ce que les points de repère placés sur les bords opposés soient à la même distance. Les deux fils parallèles de l'instrument permettent d'arriver à ce résultat avec la plus grande facilité. Quand il y a contact parfait avec les fils et les points de repère, on lit la distance qui sépare les fils, c'est ε.

On déplace alors les équerres d'abord à la main, puis, quand le contact entre la ligne virtuelle et le point de l'objet examiné que l'on vise est à peu près obtenu, on fixe les équerres au moyen de vis de serrage, et on rend la coïncidence tout à fait parfaite au moyen de vis de rappel. La distance des deux fils lue sur la règle graduée donne la distance exacte des deux perspectives du point considéré à 1/20 de millimètre près. En appliquant la formule (I *bis*) ou (II *bis*) on aura la distance verticale de ce point soit à la plaque sensible, soit aux points de vue.

En répétant la même opération pour un deuxième point de l'objet, on déterminera au moyen de la formule (III *bis*) la distance en profondeur de ces deux points. On pourra sans aucune difficulté répéter ces diverses opérations pour les points intéressants de l'objet. Une seule coïncidence et une seule lecture suffiront lorsqu'on voudra connaître la hauteur de ce point au-dessus de la plaque sensible ; deux coïncidences et deux lectures seront nécessaires lorsqu'on voudra connaître la distance de deux points quelconques de l'objet.

On fait glisser ensuite l'ensemble des deux potences sur le cadre, et le cadre sur les règles métalliques latérales, jusqu'à ce que le nœud vienne en coïncidence avec le point de repère. On lit les déplacements sur les deux graduations. Ces deux déplacements correspondent à A et B. On a ainsi les distances du plan considéré avec deux plans de repère. Au besoin, on répète la même opération, qui ne demande que quelques instants, pour un autre point de la ligne ondulée formée par le fil de plomb extérieur ou bien pour des points de repère intérieurs de position connue. Comme chaque détermination est très rapidement faite, on peut les multiplier et choisir les différents points que le chirurgien peut préférer, dans le cas surtout où le point considéré est un corps étranger.

§ 6. — Applications de la radiographie stéréoscopique.

Pour se rendre compte des cas où il y aura avantage à employer la radiographie stéréoscopique à la place de n'importe quelle méthode radiographique, il suffit de se rappeler :

1° Que la reproduction virtuelle est tout à fait semblable, en tant que forme et rapports de dimension, à l'objet réel radiographié;

2° Que l'on observe plus de détails que par les autres méthodes radio-

graphiques, parce que beaucoup d'ombres, indistinctes lorsqu'elles sont superposées sur une seule plaque, deviennent distinctes en se dispersant dans l'espace;

3° Que, dans cette reproduction virtuelle, on peut mesurer exactement les distances en profondeur de tous les points visibles, qu'ils soient tous intérieurs ou qu'ils soient les uns intérieurs, les autres superficiels. Quand les distances verticales sont connues, les distances horizontales sont faciles à calculer.

Toutes les fois, par conséquent, qu'on voudra connaître les rapports des diverses parties de l'objet, réunir le plus de renseignements possible en évitant les causes d'erreurs qui résultent de l'accumulation de détails sur la plaque et de la présence d'ombres produites pendant le développement, il faudra recourir à la radiographie stéréoscopique. Pour les mesures, il faudra nécessairement employer celles que nous avons décrites, toutes les fois, et c'est le cas le plus fréquent, qu'il ne suffira pas de connaître la position d'un corps étranger métallique de forme bien délimitée. D'ailleurs, la méthode stéréoscopique de mesure présente encore l'avantage que l'examen de l'objet vient contrôler le résultat du calcul et permet d'éviter les erreurs grossières dues à une faute de calcul. Dans le cas particulier d'une opération chirurgicale, en dehors des nombres correspondant aux distances des points intérieurs, sur lesquels porte l'intervention, par rapport à n'importe quels points de repère intérieurs ou extérieurs qu'il connaîtra à l'avance, le chirurgien aura la ressource de se repérer constamment par l'examen au stéréoscope. Les méthodes de mesures géométriques exigent ordinairement l'obtention de deux épreuves; il est donc toujours avantageux de faire ces deux épreuves en employant l'écartement maximum donné par les tables. L'obtention des épreuves est aussi facile, et les renseignements obtenus infiniment plus complets.

Ces considérations générales, vraies dans tous les cas, nous dispenseront d'entrer dans l'examen de toutes les applications de la radiographie stéréoscopique.

En nous limitant aux applications médicales, nous signalerons particulièrement :

1° *En anatomie.* — L'étude directe et précise de la distribution des canaux (artères, veines, bronches, canaux excréteurs, lymphatiques, etc.), de leurs rapports entre eux et avec les os;

2° *En clinique.* — L'étude des luxations, des fractures compliquées, de la place occupée par les corps étrangers et des désordres qu'ils ont pu commettre en pénétrant dans l'organisme, etc.

Si on a eu soin de noter les trois quantités D, P et Δ qui caractérisent le couple stéréoscopique (par exemple sur l'enveloppe contenant les deux clichés négatifs), on pourra faire l'examen et les mesures à une époque absolument quelconque aussi éloignée qu'on le voudra du moment de l'obtention.

TROISIÈME SECTION. — RADIOSCOPIE STÉRÉOSCOPIQUE

Dans le chapitre précédent, consacré à la radiographie stéréoscopique, nous avons insisté, page 562, sur l'insuffisance des renseignements fournis soit par la radioscopie simple, soit par une seule épreuve radiographique et sur les erreurs d'interprétation qui pouvaient en résulter. Je crois donc inutile de revenir sur ce point. La stéréoscopie est plus utile encore pour la radioscopie que pour les épreuves radiographiques, car les ombres obtenues sur l'écran sont moins bien délimitées que celles des épreuves radiographiques, et, par conséquent, les erreurs d'interprétation plus faciles. Les résultats que l'on a obtenus en radioscopie stéréoscopique sont des plus intéressants à connaître, d'autant plus que les simplifications du matériel qui ont été réalisées dans ces derniers temps tendent à rendre cette méthode d'examen tout à fait pratique.

D'une manière générale, pour obtenir la stéréoscopie des images projetées, on peut employer trois méthodes différentes :

1° Méthode des images colorées complémentaires ;

2° Méthode à éclipses inventée par d'Almeida en 1858;

3° Méthode basée sur l'emploi de la lumière polarisée, les deux faisceaux lumineux étant orientés suivant des directions perpendiculaires.

La deuxième méthode, dite à éclipses, est la seule qui ait été appliquée à la radioscopie. Les premières recherches expérimentales précises ont été faites par MM. Roulliès et Lacroix (1). Les auteurs se servent de deux ampoules placées à une distance comprise entre 20 et 30 centimètres de l'écran et présentant entre elles un écartement de 7 à 8 centimètres de centre à centre. L'objet étant placé entre les ampoules et l'écran, on obtient sur celui-ci deux ombres de l'objet projeté, c'est-à-dire deux perspectives un peu différentes. Ces deux images se trouvent dans des conditions de vision stéréoscopique, mais elles sont mélangées, presque superposées, et il est nécessaire de trier cette double image en attribuant à chaque œil celle qui lui convient, tout en l'empêchant de voir l'autre. Pour réaliser ce triage, les auteurs, après divers tâtonnements, se sont arrêtés à un dispositif qui est schématisé dans la figure ci-contre.

La simple inspection de la figure suffit à en faire comprendre le mécanisme. L'obturateur semi-lunaire D, actionné par une petite courroie de cuir, tourne à une grande vitesse devant les deux yeux, actionnant par son centre une bielle légère qui fait osciller un fléau, également très léger, faisant plonger deux poids métalliques dans deux godets de mercure dont la réunion forme un interrupteur double, genre Foucault.

Chaque pointe métallique de cet interrupteur double actionne une bobine de Ruhmkorff, laquelle commande l'ampoule correspondante. Les résultats

(1) *Archives d'Électricité médicale*, p. 137, 1899.

fournis par cet appareil, même avec des bobines d'une puissance relativement faible, comme celles dont ils disposaient, sont des plus encourageants; ainsi, par exemple, si l'on se sert, comme objet témoin, d'une caisse de bois

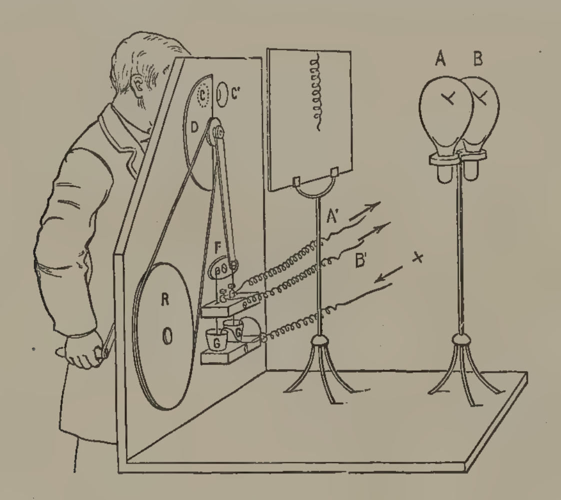


FIGURE 281.

de 10 à 20 centimètres d'épaisseur, remplie de sciure, au milieu de laquelle on a placé un fil métallique enroulé en spirale grossière, on se rend nettement compte, sur l'écran radioscopique, des divers tours de la spirale et des parties métalliques qui sont dans un plan antérieur ou dans un plan en arrière.

Ces essais ont été vérifiés dans le laboratoire du professeur Bergonié, de Bordeaux, et leur exactitude n'est pas douteuse.

Malheureusement, la méthode présentait encore un double inconvénient :

1° Le matériel était fort compliqué. Il exigeait, en dehors de l'appareil à éclipses figuré précédemment, deux bobines et deux ampoules à rayons X ;

2° Le procédé n'était applicable, qu'à de faibles épaisseurs du corps humain, en particulier à la main.

Ces deux inconvénients ont été atténués par d'autres auteurs, qui se sont occupés plus récemment de la question et en particulier par le docteur Guilloz, de Nancy.

Avant d'exposer avec quelques détails les recherches de M. Guilloz, signalons les deux intéressantes solutions, que M. P. Villard a imaginées, du problème de l'ampoule stéréoradioscopique (1).

1° L'ampoule est construite comme à l'ordinaire, sauf que l'anticathode présente une assez grande longueur dans la direction perpendiculaire au plan de symétrie de l'ampoule. Au moyen du redresseur cathodique antérieurement décrit, on envoie dans l'appareil les décharges redressées d'un transformateur à haut voltage ou d'une bobine de Ruhmkorff alimentée

(1) *Société française de physique*, 21 mars 1902.

par un courant alternatif et muni d'un interrupteur rompant le courant sur toutes les alternances. Un petit électro-aimant alternatif placé au voisinage de l'ampoule dévie les faisceaux cathodiques alternativement à droite et à gauche du plan de symétrie et détermine ainsi sur l'anticathode deux foyers alternants de rayons X. La vision se fait au moyen d'un stroboscope synchrone. Ce dispositif, qui peut d'ailleurs s'employer avec une source électrique continue, assure l'égalité constante des deux foyers d'émission, permet d'en faire varier l'écartement dans la mesure nécessaire, et l'on a l'avantage de pouvoir employer une anticathode en platine iridié, comme dans les ampoules ordinaires. On peut également, tout en conservant le même principe, constituer l'anticathode par deux lames disposées en échelons. Une déviation très faible des faisceaux suffit pour que les foyers alternants se forment chacun sur un échelon, et la dispersion cathodique est ainsi considérablement réduite.

2° Les décharges alternatives obtenues comme précédemment sont dirigées dans une ampoule munie de deux cathodes opposées entre lesquelles est une anticathode double sur laquelle se forment les deux foyers alternants (que l'on peut rapprocher ou écarter légèrement au moyen de deux demi-bagues aimantées placées derrière les cathodes). Cette disposition serait toutefois insuffisante : l'anticathode, n'étant pas anode, noircit l'ampoule, et la production des rayons est médiocre. On y remédie par l'addition d'une électrode supplémentaire, que l'on relie au pôle négatif d'une source électrique auxiliaire, telle qu'une machine statique ou une dérivation prise sur le transformateur par l'intermédiaire d'un des condensateurs et d'un redresseur. Le pôle positif de cette deuxième source est relié à l'anticathode. Dans ces conditions, les deux sources électriques se mettent d'elles-mêmes en série, phénomène qui n'est peut-être pas sans intérêt au point de vue théorique, la production des rayons X augmente notablement, et le noircissement de l'ampoule est évité.

M. le docteur Guilloz, dans ses recherches, a poursuivi un double but : d'une part, réduire la complexité trop grande du matériel et, d'autre part, s'assurer que la sensation de relief obtenue ne prête à aucune ambiguïté dans son interprétation. Il a remarqué, en effet, que, lorsqu'on pratique l'examen radiostéréoscopique dans des conditions d'observations expérimentales qui paraissent identiques, on peut obtenir tantôt le relief présumé, tantôt le relief symétrique de l'objet. De même, si l'objet est en mouvement, le sens de la rotation observé sera le sens réel ou le sens inverse. Cette remarque est très importante, et il est nécessaire de l'avoir constamment présente à l'esprit si l'on veut éviter les erreurs d'interprétation. Comme les auteurs précédents, il emploie la méthode à éclipses répétées avec une fréquence suffisante pour donner la sensation de continuité de l'image. Le relief apparaît quand se fait la fusion stéréoscopique des deux images oculaires (1).

(1) *Revue médicale de l'Est*, 1902.

§ 1. — Appareils de radiostéréoscopie.

M. Guilloz a d'abord employé deux tubes Röntgen respectivement alimentés par deux bobines dont les trembleurs rotatifs sont à trois tiges et décalés l'un par rapport à l'autre de 180°, de telle sorte que la plongée des tiges dans le mercure se fait alternativement pour l'un et pour l'autre. Sur le même axe se trouve monté l'appareil chargé de trier parmi les doubles images formées sur l'écran fluorescent l'image radioscopique correspondant à chaque œil. Il est formé d'un cylindre creux, déprimé en son milieu pour placer le nez, et dont les parois présentent, de chaque côté, trois fentes tracées suivant six génératrices équidistantes, les vides égalant les pleins. Les fentes devant l'œil droit sont décalées de 180° par rapport à celles placées devant l'œil gauche. On a sous chaque main la molette qui sert à faire varier le niveau du mercure dans l'interrupteur. On vérifie que chaque œil ne voit qu'une image et on règle la plongée dans chaque interrupteur pour que les images soient d'égale intensité.

2° Il a utilisé ensuite une seconde disposition comportant l'emploi d'une seule bobine et de deux ampoules Röntgen. Les pôles de l'induit de la bobine actionné comme à l'ordinaire sont reliés : l'un aux mêmes pôles des tubes, l'autre à un bras métallique fixé à l'extrémité d'un long axe isolé, tournant à peu de distance en regard de deux segments annulaires métalliques, isolés également et reliés respectivement aux pôles libres des deux ampoules. Ces segments sont situés dans le même plan; ils sont séparés l'un de l'autre par un intervalle libre, de telle sorte que, pendant la rotation, le courant de la bobine passe successivement par l'un et l'autre secteur, c'est-à-dire par l'une et l'autre ampoule. Sur l'extrémité libre de l'axe du même moteur se trouve monté, avec un décalage convenable par rapport au bras métallique, un petit commutateur de courant actionnant sous 2 à 4 volts le trieur d'images placé devant les yeux de l'observateur. Il est formé (fig. 282) de deux électro-aimants commandant deux petits diaphragmes qui s'ouvrent alternativement; le tout est monté sur une planchette tenue à la main ou fixée sur la monture d'une paire de lunettes. Le courant induit est ainsi lancé alternativement dans un tube et dans l'autre, pendant que se découvrent respectivement l'un et l'autre diaphragme du trieur d'images. L'écartement à donner aux segments dépend de la résistance des tubes, qui, pour tous deux, doit être égale et assez faible (tubes mous). Afin que la dérivation qui se produit dans les deux tubes, quand le bras métallique arrive entre les deux secteurs ne mélange pas les images, on donne un certain décalage au commutateur rotatif commandant les petits électro-aimants.

3° La disposition la plus simple consiste dans l'emploi d'un seul tube et d'une seule bobine. M. Guilloz a donc cherché à réaliser un tube dont les électrodes puissent alternativement fonctionner comme cathode et antica-

thode. Il emploie une ampoule symétrique, portant deux électrodes formés par deux disques plans de chrome placés en regard l'un de l'autre à la distance de 65 millimètres environ (distance des yeux). On peut donner une légère obliquité aux électrodes dans le but d'augmenter le champ commun

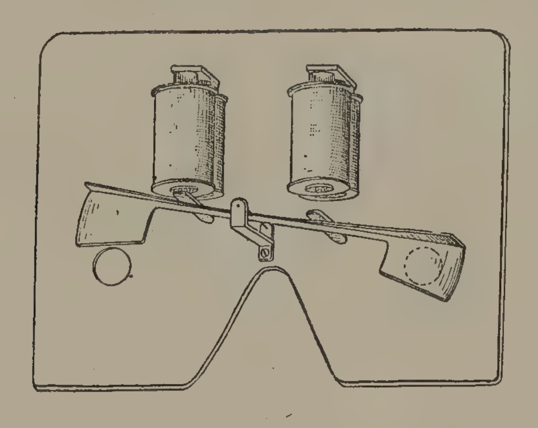


FIGURE 282.

de leurs rayons. Ce tube ne noircit pas à l'usage comme si les électrodes étaient des électrodes de platine. Les rayons Röntgen donnés par le chrome sont moins pénétrants que ceux que donnerait le platine, mais ce tube fonctionne cependant d'une façon satisfaisante quand il est puissamment alimenté. On peut le faire sans inconvénient, car le chrome est moins fusible que le platine. Ce tube, monté directement sur transformateur à haut potentiel de courant alternatif, donne des images doubles pour tout objet situé dans l'espace compris entre les plans des électrodes. La radioscopie ordinaire

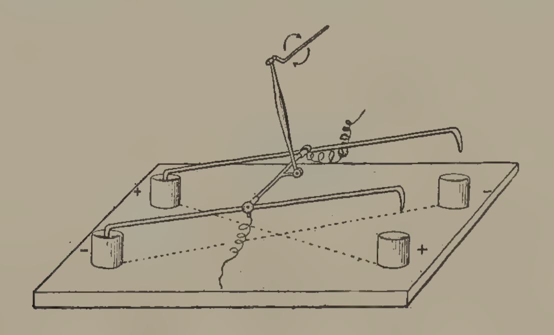


FIGURE 283.

se fera ainsi en masquant par un écran métallique les rayons émis par l'une des électrodes. Le chrome, d'un prix peu élevé, donne après platinage, pour les tubes usuels, des anticathodes aussi infusibles que des électrodes très épaisses de platine. Pour effectuer avec cette ampoule la radioscopie sté-

réoscopique sur courant continu, il suffit de monter sur l'inducteur de la bobine un commutateur inverseur rotatif tournant sur le même axe que le commutateur qui actionne les électro-aimants des trieurs d'images.

M. Guilloz a employé dans ce cas, avec le meilleur succès, des commutateurs à tiges oscillantes, plongeant à l'extrémité de leur course dans des godets de mercure, et commandés par une came excentrée montée sur l'axe d'un petit moteur (la fig. 283 en donne le schéma). D'autres tiges oscillantes, isolées sur l'axe du même instrument et plongeant, à l'extrémité de leur course, dans d'autres petits godets de mercure, servent de prise de courant sous 4 volts pour les électro-aimants du trieur d'images. Les commutations de courant dans les électros se font en synchronisme avec l'illumination des tubes. Cette disposition, très facile à imaginer, n'a pas été représentée sur le schéma (fig. 283), afin de ne pas le compliquer. Le commutateur inverseur peut, à la rigueur, servir d'interrupteur pour la bobine, mais il est préférable de lui donner une vitesse modérée et de monter en série avec lui un interrupteur rapide, rotatif ou électrolytique. L'examen se pratique, dans ce dernier procédé, en donnant aux yeux de l'observateur une position symétrique de celle des électrodes du tube par rapport à l'écran fluorescent.

§ 2. — **Procédés d'observation radiostéréoscopique.**

Nous examinerons le cas le plus simple de l'examen radiostéréoscopique : celui où il se pratique avec un tube symétrique, dont les électrodes sont distantes de 65 millimètres. Les yeux de l'observateur, placés derrière les trieurs d'images, occupent par rapport à l'écran une position symétrique des électrodes du tube (centres d'émission des rayons X). Si les électro-aimants sont reliés au commutateur rotatif de la bobine de telle sorte que les lignes qui joignent respectivement chaque électrode, lorsqu'elle est centre d'émission de rayons, au diaphragme qui est ouvert à ce moment, soient parallèles, l'expérience sera dite montée en parallèle ; si ces lignes se coupent, l'expérience sera dite croisée. — Afin de ne pas rester exposé trop longtemps aux rayons, on peut, pour la vérification des données qui vont suivre, ou pour s'exercer à pratiquer la méthode, utiliser deux sources de lumière blanche de petites dimensions, distantes de 65 millimètres, et alternativement démasquées par un appareil identique au trieur, placé devant les yeux de l'observateur, et montées en dérivation avec lui. On observe ainsi les ombres données par des corps opaques sur un écran définitif.

L'expérience se réalise plus simplement en rendant les deux lumières de tonalités complémentaires par des verres colorés et en observant les ombres à travers des verres colorés semblables aux premiers. Si les ombres ont des contours suffisamment nets et une luminosité semblable, on obtient une très bonne sensation du relief stéréoscopique. Si les lignes qui joignent les

verres colorés semblables sont parallèles, l'expérience est dite montée en parallèle ; elle est dite croisée si ces lignes se coupent.

1° **Expérience en parallèle** (fig. 284). — On aura la sensation d'un corps en relief qui, par rapport à l'écran, sera le symétrique de l'objet. La sensation de relief obtenue dans ces conditions est une sensation aussi exacte dans l'appréciation relative des profondeurs que celle de la vue directe binoculaire de l'objet vu devant un fond éclairé. Les ombres, quand elles se fusionnent, donnent des images rétiniennes qui sont extériorisées de telle sorte que leurs points correspondants occupent exactement les symétriques des contours de l'objet par rapport à l'écran. On a ainsi, aussi

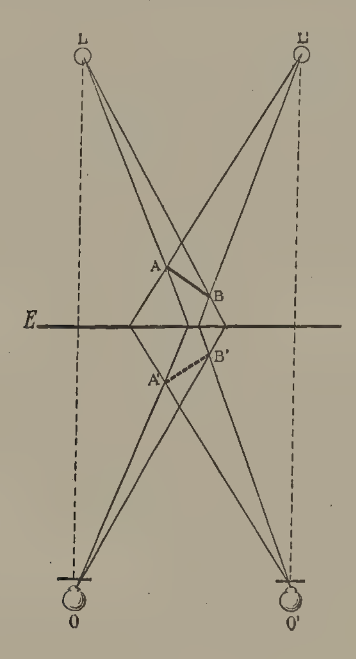


FIGURE 284.

nettement que dans le meilleur des stéréoscopes, la sensation visuelle corporelle d'un objet symétrique de celui qui est examiné et situé entre l'observateur et l'écran. Dans cette observation, l'image présente le lustre stéréoscopique qui, suivant les conditions de l'expérience, sera plus ou moins brillant. Ainsi observée, une omoplate gauche placée derrière l'écran, sa face antérieure tournée du côté de l'observateur, semblera une omoplate droite vue par sa face postérieure et placée dans l'espace entre l'écran et l'observateur dans une position symétrique de la première par rapport à l'écran. Si dans la région où s'extériorise l'image corporelle de l'objet on promène un rectangle formé d'un fil métallique replié, sur lequel sont tendus des fils équidistants, la vision stéréoscopique existera pour le plan des fils du réseau tout comme pour l'image. On pourra ainsi évaluer, en donnant à l'écran la position voulue, les diverses dimensions du corps dans

toutes les directions. La précision des mesures est parfaite, et, dans l'examen radioscopique ainsi pratiqué, les évaluations métriques atteignent le millimètre comme précision. Un procédé identique permet, au moyen d'une glace argentée ou platinée pour lui laisser une transparence favorable, de mesurer les dimensions d'un objet situé, ainsi que l'observateur, du côté réfléchissant du miroir. Une règle graduée déplacée derrière la glace est amenée en coïncidence avec la dimension à mesurer. On sera étonné de la précision avec laquelle on place la règle. Les observateurs indécis seront ceux qui inconsciemment n'examineront qu'avec un œil et ne seront pas dans les conditions requises pour l'expérience. On peut ainsi, chez un même sujet, au cours d'une même expérience, faire disparaître l'indécision ou rendre l'expérience très précise. On déterminera ainsi avec facilité, d'une façon générale, les dimensions diverses d'un objet visible et inaccessible. L'examen radioscopique ainsi pratiqué permettra d'effectuer derrière l'écran toute une série d'opérations qu'avec une habitude promptement acquise on effectuera avec une remarquable dextérité : enfiler des anneaux métalliques diversement orientés et situés, couper une corde en un point marqué, capter exactement les fragments d'une tige ou d'un os brisé, etc., etc. Il faut seulement, dans les premiers essais, avoir la notion que les mouvements réels sont vus inverses dans l'image qu'en donnent les ombres. Cette notion s'acquiert instinctivement et l'inconvénient est plus apparent que réel et ne doit pas faire rejeter la méthode par les radiographes et les chirurgiens. La sûreté avec laquelle les laryngologistes peuvent conduire les instruments d'après leur marche dans miroir, ou mieux encore l'emploi des miroirs pour les soins de la toilette, montrent bien, en effet, avec quelle souplesse le sens musculaire sait se prêter à des exigences identiques.

2° **Expérience montée croisée** (fig. 285). — Lorsque l'expérience est montée croisée, on acquiert par la fusion des images rétiniennes des ombres, la notion d'un corps en relief apparaissant comme situé nettement derrière l'écran et occupant plus ou moins approximativement la position réelle de l'objet examiné. Ainsi, une omoplate droite, des corps formés de fils métalliques apparaîtront sous l'aspect où on les voit après avoir soulevé l'écran. Une construction graphique montre que les lignes joignant les centres des yeux aux points des ombres correspondant au même point de l'objet figurent, par leurs rencontres respectives dans l'espace, un solide de configuration analogue à celui observé, mais plus ou moins déplacé et déformé suivant les conditions de l'expérience. Pratiquement, les déformations peuvent être si faibles qu'on a peine à en juger : par exemple, si les distances des sources à l'écran étant de 30 centimètres, les parties de l'objet les plus éloignées de l'écran n'en sont qu'à 6 ou 7 centimètres, on juge l'objet un peu gros avec de légères déformations des angles. Ici encore la souplesse du sens musculaire viendra en aide pour permettre d'effectuer avec assez de sûreté pour des objets placés derrière l'écran une série d'opérations mécaniques analogues à celles précédemment signalées. Cependant, quand l'objet est

assez distant de l'écran (plus de 6 ou 7 centimètres), il m'a semblé que ces manœuvres ne pouvaient pas être effectuées par une approche aussi brusque, car à chaque instant la vue doit intervenir pour rectifier les mouvements comme direction et amplitude. Pratiquement, cette méhode s'applique encore bien à la radioscopie stéréoscopique, mais elle ne peut permettre d'effectuer de la radiométrie.

En terminant, M. Guilloz attire l'attention sur un point très important qu'il faudra toujours avoir présent à l'esprit sous peine de commettre les pires erreurs radiographiques. Dans des conditions d'observation qui, de

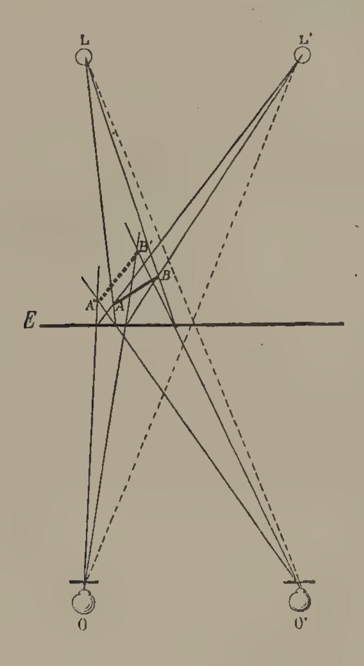


FIGURE 285.

prime abord, paraissent identiques, les images décrites dans les expériences précédentes peuvent s'intervertir, c'est-à-dire que l'expérience en parallèle peut donner les résultats de l'expérience croisée, et vice versa. Cette erreur surgit facilement si l'une des sources donne moins de lumière que l'autre, et au cours d'une même observation on peut soit spontanément, soit à la suite de mouvements des yeux, voir le relief réellement indiqué par les conditions de l'expérience ou le relief du symétrique. Si les sources donnant les ombres ont une intensité à peu près égale, il devient, chez la plupart des sujets, beaucoup plus difficile d'intervertir le relief, mais une fois qu'on y est parvenu, on y arrive plus facilement. A vrai dire, il ne s'agit pas ici réellement d'une illusion stéréoscopique, et, quand le relief n'est pas ce qu'il devrait être, c'est que la vision s'opère monoculairement. La vision monoculaire donne alors une certaine sensation de relief par suite d'une

interprétation cérébrale qui peut inverser le relief réel quand ce changement ne choque pas notre jugement. Helmholtz a donné de nombreux exemples de figures géométriques qui peuvent s'inverser de cette façon (carrelage noir et blanc, mur en escalier, etc.). L'examen des ombres nous fournit encore des illusions de mouvement qui peuvent également se rattacher à cette dernière. Une source unique donne sur un écran diffusif l'ombre d'un petit cheval de plomb finement coulé, ayant deux chiens entre les jambes et suspendu par un fil. Pour une même position de l'animal, on arrive à juger la croupe tantôt en avant, tantôt en arrière. Si l'on fait tourner le cheval, on lui assigne tantôt son sens de rotation, tantôt le sens inverse, puis spontanément ou après avoir passé la main devant les yeux ou après avoir détourné les yeux, on voit le cheval se retourner brusquement et continuer à tourner en sens inverse, quoiqu'il soit toujours animé du même mouvement. Ces aspects peuvent se succéder rapidement. Dans l'exemple précédent, l'ombre de l'extrémité de l'oreille par exemple décrit une ellipse : suivant que l'on juge l'arc inférieur de l'ellipse antérieur ou postérieur, on assigne un sens différent au mouvement. Les illusions disparaissent dès qu'il y a réellement vision stéréoscopique. Quand on regarde dans un stéréoscope, la sensation de relief n'apparaît pas toujours immédiatement ; mais, quand elle se produit, elle donne une intensité de sensation qui la fait distinguer nettement de la vision monoculaire.

Il en est de même dans l'observation radioscopique. Si on la pratique sur le symétrique de l'objet examiné (expérience en parallèle), on a un signe objectif de l'existence réelle du relief binoculaire. Le signe caractéristique de la perception stéréoscopique sera donc la possibilité d'amener sans hésitation, au contact d'une région du relief corporel de l'image de l'objet, et avec une grande précision dans sa position dans l'espace, le système de réseau précédemment décrit.

Docteur Ribaut,
Professeur agrégé
à la Faculté de Médecine de Toulouse.

Docteur Marie,
Chargé de cours
à la Faculté de Médecine de Toulouse.

CHAPITRE III

EXCITATION UNIPOLAIRE DES TUBES DE RÖNTGEN ET ENDODIASCOPIE

§ 1. — Historique et généralités.

C'est en janvier 1898 que j'ai conçu et réalisé une méthode nouvelle d'excitation des tubes de Crookes, au moyen d'un courant électrique, dont le *pôle négatif fut seul en tension.*

Depuis le 9 mars, jour où j'ai publié mes premiers résultats dans la *Presse médicale*, je me suis efforcé de perfectionner cette méthode, à laquelle tout le monde s'accordait à prédire, dès ce moment, un brillant avenir, surtout en stomatologie.

Le 24 mai 1898, j'ai fait une communication à l'Académie de Médecine, sur ce procédé d'excitation unipolaire des tubes de Röntgen dans les cavités naturelles, auquel j'avais déjà donné le nom d'*endodiascopie* (ἔνδον, au dedans ; διὰ, à travers ; σκοπειν, examiner), par analogie avec le principe et le manuel opératoire de l'endoscopie.

J'ai présenté ce jour-là une série d'endodiagraphies de maxillaires supérieurs et inférieurs, faites avec l'ampoule dans la cavité buccale, et de sacrums et de symphyses pubiennes, obtenues par l'introduction du tube de Röntgen dans l'enceinte pelvienne (par le vagin ou le rectum).

Après avoir exposé dans ma thèse (1) inaugurale (8 juillet 1898) les premiers éléments de cette méthode, qui était complète en théorie, mais dont les applications pratiques étaient hérissées de difficultés de tout genre, j'ai poursuivi son étude sans me laisser aller au découragement.

A ce propos, la question de priorité de l'endodiascopie ayant été l'occasion de violentes polémiques, dans les mois qui suivirent mes premières publications, je tiens à bien la préciser. Je me contenterai, pour cela, de

(1) Bouchacourt, *Exploration des organes internes à l'aide de la lumière éclairante et non éclairante. Endoscopie par les rayons de Röntgen.* Th. Paris, 1898. G. Steinheil, éditeur.

citer le passage suivant, d'une lettre que m'a adressée M. le docteur Destot (de Lyon), à la date du 10 novembre 1898, cette lettre ayant clôturé le débat.

« Je n'ai jamais émis, m'écrivait M. Destot, la moindre prétention sur la « méthode unipolaire, que vous venez de consacrer. Vous devez en être fort « content, puisque tout le monde vous l'abandonne, et que vous êtes le seul à « en avoir la gloire. »

Le premier perfectionnement de l'endodiascopie a été la substitution de la bobine d'induction à la machine statique Carré, dont je m'étais servi tout d'abord. C'était un pas important dans la voie de la généralisation.

Une autre amélioration, qui n'est survenue que très lentement, et après une série de fausses routes, qui ont amené des retards inévitables, a été le perfectionnement des endodiascopes eux-mêmes.

Ces tubes, forcément très réduits dans leur partie éclairante, tenaient très mal le vide, et se détruisaient rapidement.

Aussi, il m'est arrivé que, au cours de présentations à des Sociétés savantes, le même tube, après avoir donné une bonne image, aux observateurs qui se présentaient les premiers, n'émettait presque plus de rayons de Röntgen, quand c'était le tour des derniers arrivants.

Néanmoins, comme il me paraissait que, malgré le peu de viabilité de ces endodiascopes, les renseignements qu'ils fournissaient pouvaient être précieux, j'ai présenté et fait fonctionner le matériel endodiascopique devant un certain nombre de sociétés savantes.

C'est ainsi que, avec l'aide de mon collaborateur, M. A. Rémond, j'ai fait des expériences pratiques d'endodiascopie buccale à la Société d'odontologie de Paris (février 1899), à la Société de stomatologie (avril 1899), à l'Association française pour l'avancement des sciences (Boulogne-sur-Mer, septembre 1899), au 1er Congrès d'électrologie et de radiologie médicales (juillet 1900), au troisième Congrès dentaire international (août 1900) et, enfin, à l'École dentaire de Paris (août 1900).

Toutes ces présentations correspondaient à des perfectionnements de détails dans l'instrumentation ; mais la longévité des tubes n'était guère augmentée.

Ce n'est que depuis quelques mois que je suis en possession d'endodiascopes tenant le vide, et ayant un fonctionnement électrique régulier, malgré la petitesse obligatoire de l'ampoule.

Les résultats pratiques, au point de vue clinique, sont donc encore peu nombreux.

L'étude des fractures du maxillaire inférieur, était une des applications évidentes de l'endodiascopie buccale.

Ainsi, M. Mahé, dans sa thèse (1), après avoir expérimenté la méthode,

(1) MAHÉ, *Essai sur le traitement de la fracture du maxillaire inférieur.* Thèse Paris, 1899, p. 136.

qui était à cette époque à une période de transition, avait-il affirmé sa conviction : que c'était le procédé rationnel des applications des rayons de Röntgen, à cette variété de fractures.

Tout récemment encore, le même auteur, élève de M. Terrier, m'engageait à continuer mes recherches dans cette voie, insistant sur ce fait que, par les procédés ordinaires de radiographie, toutes les épreuves ne donnaient qu'une image de la portion alvéolaire du maxillaire, ou un ensemble inextricable, composé par la superposition des images des deux côtés du maxillaire.

« Jusqu'à présent, m'écrivait-il, je n'ai pas connaissance d'une seule « radiographie donnant nettement la représentation de toute la hauteur du « maxillaire inférieur sans superposition des deux côtés. »

L'observation suivante, provenant d'un malade de M. Rémy, n'est cependant pas la première reproduction de ce genre, que j'aie faite sur le vivant.

Cette endodiagraphie a été exécutée le 1er avril 1902, et présentée à l'Académie de Médecine le 27 mai, après que nous eûmes acquis de nouveau la certitude que cette application des rayons de Röntgen désélectrisés au sein de l'organisme ne serait l'occasion d'aucun trouble trophique.

Obs. (résumée).— *Archives de stomatologie*, juin 1902.— Il s'agit d'un charretier âgé de 41 ans, qui avait eu la tête serrée entre le timon de sa voiture et l'arrière d'un tombereau.



Fig. 286. — Endodiagraphie de fracture du maxillaire inférieur.

Le traumatisme avait produit une plaie de la joue gauche, avec fracture du corps du maxillaire inférieur à droite, un peu en dehors de la symphyse, à point de départ entre l'incisive et la canine.

Quatre mois après une intervention pratiquée à l'hôpital Bichat, il y avait consolidation avec dénivellation des arcades dentaires, tuméfaction sous le

menton, et persistance de 3 trajets fistuleux, par lesquels s'écoulait du pus en abondance, et des fragments osseux par intermittence.

M. Ch. Rémy, professeur agrégé, tenta à plusieurs reprises, mais sans aucun résultat, de faire cette radiographie suivant les procédés classiques : tube de Röntgen d'un côté, plaque de l'autre (latéralement, en dessous et en dessus).

En désespoir de cause, il m'envoya alors son malade, afin que j'aie recours à l'examen endodiascopique. Celui-ci me permit de reconnaître à cette fracture les caractères suivants :

1° Trait de fracture dirigé presque verticalement, entre l'incisive et la canine droites ;

2° Existence d'une perte de substance osseuse, au niveau du bord inférieur du maxillaire inférieur, mais pas de séquestres ;

3° Absence de tout fil métallique.

L'épreuve endodiagraphique ci-jointe (fig. 286) a été faite avec une pose de une minute.

Quoiqu'elle soit très médiocre, les conditions de stabilité ayant été très défectueuses, elle permet cependant d'avoir tout au moins une idée, de ce qu'était l'image endodiascopique.

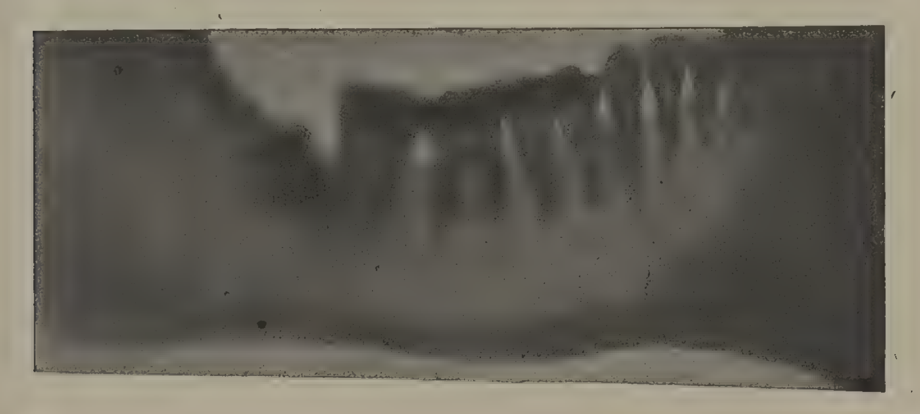


Fig. 287. — Endodiagraphie d'une dent de sagesse incluse.

§ 2. — Tubes de Röntgen spéciaux pour excitation monopolaire.

A l'allongement obligé de la tige cathodique est venu s'ajouter l'écartement de l'anode et de la cathode, de façon à éloigner le plus possible du sujet à examiner, le *champ* provenant du pôle négatif du générateur, le seul qui soit en tension.

Nous avons d'abord placé la cathode au fond d'un long cylindre, conservant la forme sphérique pour le reste du tube. Mais les répulsions latérales sur le faisceau cathodique, s'exerçant sur une grande longueur, élevaient considérablement la résistance électrique intérieure ; elles amenaient le faisceau cathodique à être filiforme, et le rendement en rayons était très faible.

De plus, comme, dans les premiers endodiascopes, la chambre anodique avait ses parois plus éloignées de l'axe que le cylindre au fond duquel se

trouvait la cathode, l'action répulsive exercée à ce niveau (partie anodique) était moindre. Après avoir été resserré, le faisceau cathodique se dilatait donc dans le voisinage de l'anode, débordait celle-ci, chauffait et réduisait le verre, et enfin donnait des images peu nettes.

Nous allons décrire les formes actuelles des tubes monopolaires, donnant le fonctionnement le meilleur.

A. — **Tubes en poire**. — Les tubes destinés à la marche dans l'air, ont la forme d'une poire allongée; la cathode C est placée dans une partie cylindrique l'enveloppant entièrement; elle est précédée d'un tube long et de faible diamètre E, isolant le fil négatif venant du générateur.

L'anode B est placée latéralement, au voisinage de l'autre extrémité, tandis que l'anticathode A est supportée par une tige solide D, située dans l'axe géométrique du tube.

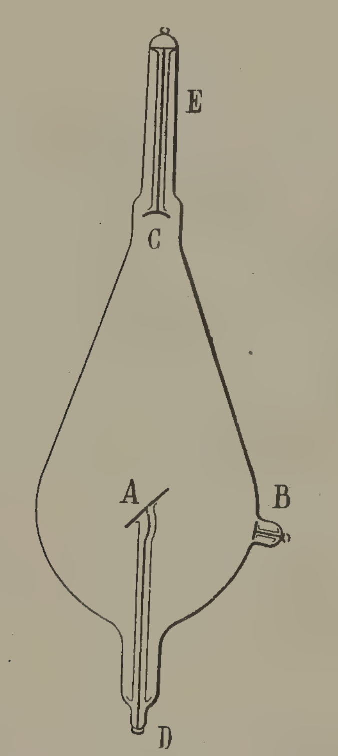


Fig. 288. — Tube unipolaire en poire.

Dans les premiers modèles, l'anode avait été placée vers l'extrémité arrondie de la poire (fig. 288); mais ultérieurement, nous avons adopté le dispositif inverse (anode du côté pointu), qui favorise la convergence des rayons cathodiques sur l'anticathode.

L'ampoule proprement dite, ou enveloppe de verre, est toujours plus épaisse du côté anodique, puisque c'est de ce côté que s'exercent tous les efforts, pour supporter l'ampoule et la maintenir dans sa gaine.

B. — **Endodiascopes.** — Les raisons indiquées plus haut, en ce qui concerne cet épanouissement du faisceau cathodique, produit par le renflement de la chambre anodique des premiers modèles, nous ont conduits logiquement à la forme actuelle. La cathode est placée à la grande base d'un tronc de cône très allongé, dont la petite base est occupée par l'anticathode.

L'anode B, servant à faire le vide, avait d'abord été placée dans la chambre ovoïde, destinée à augmenter la capacité de l'ampoule (fig. 289).

Mais nous nous sommes aperçus bientôt, que ce dispositif était défectueux. En effet, l'émission normale des rayons cathodiques, au niveau de la cupule de la cathode (en C), était entravée par la production de décharges plus ou moins intermittentes, entre l'anode B et la partie la plus rapprochée de la tige cathodique.

Pour obvier à ce sérieux inconvénient, nous avons alors reporté simplement l'anode B dans la chambre anodique, suffisamment loin de l'anticathode A, pour ne pas gêner l'intromission, et de la cathode C, pour que des étincelles n'éclatent pas, entre ces deux armatures métalliques de nom contraire au point de vue électrique.

Les deux types : endodiascope buccal et endodiascope pelvien, sont identiques ; ils ne diffèrent que par les dimensions. Il nous semble même, qu'en pratique, on pourrait avoir un modèle à deux fins.

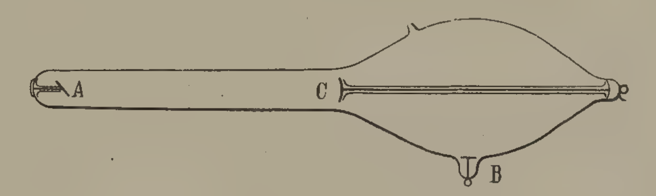


Fig. 289. — Endodiascope.

L'étincelle excitatrice de l'endodiascope buccal a de 5 à 8 centimètres de longueur ; celle du type pelvien, de 8 à 12 centimètres au plus.

C. — **Montures métalliques auxiliaires.** — Des motifs divers nous ont amenés à munir les tubes de Röntgen à excitation monopolaire, d'une monture métallique extérieure. Dans le cas des tubes fonctionnant à l'air libre, ce sont seulement les exigences et les conditions de l'emploi à la main ; pour les endodiascopes, aux causes précédentes s'ajoute la nécessité de protéger les parois de la cavité organiqne, dans laquelle on les introduit, contre les risques de bris pendant la marche, pour une cause quelconque.

Enfin, nous avons pensé réduire ainsi au minimum les risques si variables de troubles trophiques.

α) *Lanterne spéciale.* — Les tubes monopolaires en poire, dont la partie anodique est terminée par un cylindre résistant, sont simplement placés dans une *lanterne* A, formée d'un demi-cylindre en aluminium (fig. 290).

Celui-ci est fixé à une pièce de laiton C, recevant une poignée munie d'une bague de serrage B, rendant le tout solidaire.

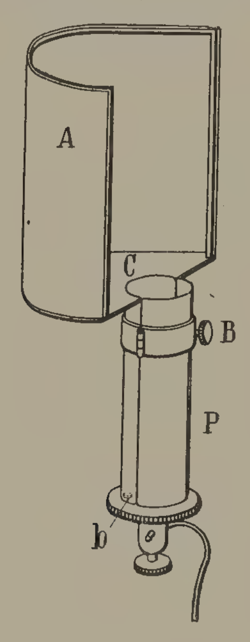


FIG. 290. — Lanterne du docteur Bouchacourt.

On relie le fil négatif du générateur à l'extrémité cathodique de l'ampoule; on fixe à la poignée P de la lanterne le fil de sol *b*, et tenant cette poignée à la main, on déplace à volonté, pendant la marche, le foyer d'émission du tube. Le faisceau de rayons de Röntgen peut ainsi être envoyé dans telle direction et telle position que l'on veut, sans arrêter nullement la marche de l'appareil.

β) *Gaines buccales et pelviennes.* — La partie tronconique des endodiascopes est recouverte et protégée, sur une longueur convenable, déterminée par la profondeur de l'introduction, par une gaine résistante en contact avec l'anticathode, et reliée au sol par une poignée servant de support.

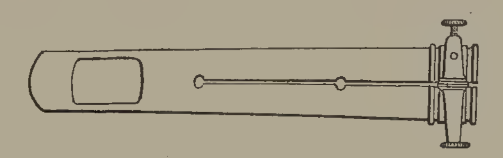


FIG. 291. — Gaine métallique de l'endodiascope buccal.

La gaine buccale est munie d'une fenêtre ménagée dans le métal (fig. 291); cette fenêtre est obturée par une bague en aluminium de faible épais-

seur, qui se laisse facilement traverser par les rayons, tout en continuant l'écran métallique de protection, relié au sol, qui est ainsi interposé entre le *focus* et les tissus traversés.

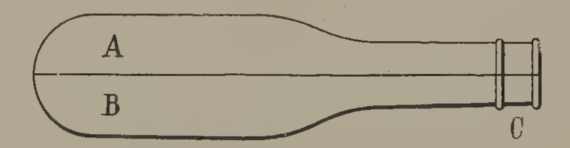


FIG. 292. — Gaine métallique de l'endodiascope pelvien à introduction vaginale ou rectale.

Des supports appropriés permettent de fixer les endodiascopes d'une façon invariable, quand on veut faire des radiographies de la partie explorée.

§ 3. — Étude des images radioscopiques dans la méthode unipolaire.

A. — GÉNÉRALITÉS

L'excitation bipolaire du tube de Röntgen exige qu'on place la partie du corps humain à examiner à une distance d'autant plus grande du circuit secondaire, que l'intensité employée est elle-même plus grande. Or, l'ensemble des qualités des rayons de Röntgen varie en raison inverse du carré de la distance; d'où une cause d'affaiblissement rapide de la fluorescence des écrans employés. De plus, le passage des rayons à travers l'atmosphère, entraînant une sorte de tamisage des radiations peu pénétrantes, mais donnant une grande luminosité, on voit que l'éloignement n'est pas indifférent.

Ces deux causes principales expliquent pourquoi l'examen radioscopique est si souvent peu concluant. Les images formées à 60 ou 80 centimètres d'un tube puissant étant grises, sans contraste ni détails, on hésite généralement à affirmer le diagnostic le plus simple : fracture ou luxation par exemple. La radiographie seule est précise dans la plupart des cas; mais elle entraîne toutes les manipulations de la photographie, sans compter le temps qu'elle nécessite.

Il n'en est plus de même, quand on emploie l'excitation monopolaire ; on peut, en effet, rapprocher beaucoup le tube à rayons, et même le mettre en contact de l'organe à examiner. On conçoit, dès lors, que l'*ensemble* des qualités des radiations (faits complexes que nous n'avons pas à analyser), soit moins affaibli, et conserve un pouvoir excitateur de la fluorescence et un pouvoir actinique bien supérieurs à ceux que l'on observe à distance.

Dans cet ordre d'idées, une expérience simple, mais frappante, est une démonstration péremptoire de ce qui précède : on monte un tube monopo-

laire, et on examine la main, en se plaçant à 40 ou 50 centimètres de l'ampoule ; puis on s'approche du tube jusqu'au contact ; l'image à l'écran, de grise et peu nette qu'elle était, devient aussi belle que sur les radiographies les mieux réussies.

Dans la pratique, un court tâtonnement donne vite l'image la meilleure, et permet d'obtenir toutes les orientations que l'on veut, pour les positions relatives du tube, de la partie examinée, et de l'écran.

B. — Théorie de l'image en unipolaire

Nous allons étudier les conditions géométriques de formation des images fluorescentes, en nous appuyant sur les lois connues de l'émission des rayons de Röntgen ; nous déduirons de la formule obtenue la connaissance de celles de ces conditions qui sont le plus favorables pour l'examen radioscopique d'une partie déterminée du corps humain.

Nous distinguerons deux cas :

1[er] *cas.* — Le tube, mobile dans tous les sens, peut être éloigné ou rapproché autant qu'on le veut (ampoule fonctionnant à l'air libre) ;

2[e] *cas.* — Le tube ne peut être déplacé que dans un rayon très limité, par rapport à la zone explorée (endodiascopie buccale et pelvienne).

A. — **Emploi du tube en poire**. — *a*) Grandeur de l'image. — Nous supposons que la zone d'émission des rayons de Röntgen présente un très faible rayon ; autrement dit, nous supposons que le focus est réduit à son centre.

Nous placerons ce focus F, sur la normale centrale de la surface explorée S ; nous appellerons (fig. 293) :

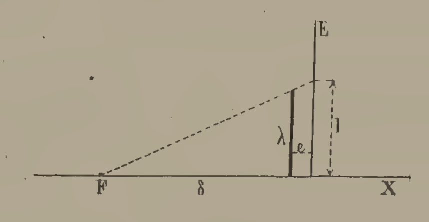


Figure 293.

λ, la longueur du rayon de l'objet examiné ;

δ, la distance du focus, comptée sur la normale FX à la surface S ;

e, la distance de l'écran E à l'objet ;

I, la longueur du rayon de l'image formée sur l'écran ;

I est donc l'ombre portée par l'objet sur l'écran E, le focus étant le centre d'éclairement ou de projection.

En vertu de la relation de proportionnalité entre les côtés des triangles semblables, on a :

(1) $$\frac{1}{\lambda} = \frac{\delta + e}{\delta};$$

d'où :

(2) $$I = \lambda \frac{\delta + e}{\delta} = \lambda \left(1 + \frac{e}{\delta}\right).$$

Il y a donc agrandissement, tant que e n'est pas nul, ou δ infini.

Dans la pratique, pour que l'image soit *claire*, détaillée, il faut que δ reste petit. On doit donc s'efforcer de rendre e aussi petit que possible, en déprimant au besoin les parties molles, et en enlevant tout ce qui peut éloigner l'écran de la partie explorée.

Nous pouvons donner une autre forme à cette relation entre I, λ, e et δ. Prenons e comme unité, pour mesurer δ ; soit :

(3) $$\delta = ne.$$

La formule (2) devient alors :

(4) $$I = \lambda \left(1 + \frac{1}{n}\right).$$

D'où la règle suivante : *L'image est supérieure à l'objet d'une fraction de celui-ci ayant, pour dénominateur, le nombre de fois que la distance entre l'objet et l'écran est contenue dans la distance entre le focus et l'objet.*

Si donc, pour fixer les idées, nous prenons le cas *de la main*, examinée avec la lanterne *en contact*, nous trouvons les nombres suivants :

La distance entre les os et l'écran, étant de 5 millimètres en moyenne, pour la face la plus voisine, si l'ampoule a 60 millimètres de rayon, la distance entre le focus et l'os sera environ 12 fois plus grande, que la distance entre l'os et l'écran. L'image sur ce dernier, n'est donc agrandie linéairement que de 1/12.

Dans le cas de l'*articulation du coude*, la distance entre la partie osseuse explorée et l'écran varie suivant l'orientation, chez un sujet moyen, entre 10 et 15 millimètres ; pour que l'agrandissement conserve la même valeur, soit 1/12, il faut que le focus soit éloigné de 120 à 180 millimètres de la même partie explorée ; la lanterne devra donc être maintenue à une distance variant entre 60 et 180 millimètres du membre supérieur, suivant l'orientation, pour que l'agrandissement reste le même.

Pour le pied, on amènera la lanterne au contact pour les orteils ; on la placera à une distance variant de 60 à 120 millimètres pour le tarse et le métatarse.

Pour l'*humérus* et le *fémur*, la lanterne sera éloignée de 120 à 200 millimètres, et même davantage, suivant les cas, de la face du membre opposée à l'écran fluorescent.

b) Éclairement de l'image. — Nous supposerons, pour simplifier les calculs, que l'émission des rayons de Röntgen, à partir du focus de l'ampoule, est analogue à celle de la lumière; que les milieux traversés sont isotropes; que la répartition est proportionnelle à la surface, etc.

Désignons par φ le *flux* de rayons de Röntgen sur la demi-sphère d'émis-

sion, englobant sous cette dénomination l'ensemble des qualités de ces radiations : pouvoir d'exciter la fluorescence, pénétration, intensité, etc.

Soit ε l'éclairement élémentaire de l'écran, par unité de surface, à la distance du focus considérée précédemment $(\delta + e)$, en conservant la notation employée plus haut.

Si l'on désigne par K une constante, la valeur de ε est donnée par la formule :

(5) $$\varepsilon = K \frac{\varphi}{2\pi(\delta + e)^2}.$$

Exprimons δ en fonction de e, suivant la formule (3) :

(3) $$\delta = ne.$$

Nous avons :

(6) $$\varepsilon = K \frac{\varphi}{2\pi e^2(1 + n)^2}.$$

Si nous posons :

(7) $$\frac{K\varphi}{2\pi} = \alpha,$$ (α désignant la constante d'une expérience donnée,)

la formule définitive devient :

(8) $$\varepsilon = \frac{\alpha}{e^2(1 + n)^2};$$

ce qui montre que, pour l'expérience réalisée, toutes choses égales d'ailleurs, l'éclairement ε varie en raison inverse de $(1 + n)^2$.

Cette loi de décroissement est extrêmement rapide, puisque, pour les valeurs entières successives de n, celles de la fraction $\frac{1}{(1 + n)^2}$, mesurant le *coefficient de réduction*, sont données par le tableau suivant :

Valeurs de n. .	1	2	3	4	5	6	7...
Coefficients de réduction	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{36}$	$\frac{1}{49}$	$\frac{1}{64}$...

Nous sommes donc fondés à dire que la condition essentielle à remplir, pour obtenir l'*éclairement* (?) *maximum* d'une image sur l'écran fluorescent, est que le focus soit le *moins éloigné* possible.

Le tableau précédent montre bien à quelles difficultés pratiques on se heurte, dans le procédé de *radiographie à longue portée*, qui a été préconisé par M. Varnier (Ac. des Sciences, janvier 1901).

A la distance de 10 mètres, et même de 5 mètres de l'ampoule, la plaque photographique reçoit une quantité tellement réduite de radiations, que celles-ci sont pour ainsi dire inutilisables, pour le bassin *vivant* tout au moins.

Quant à la question d'agrandissement, elle est en quelque sorte secondaire, et plutôt favorable à la netteté et à la différenciation des points les plus rapprochés de l'image, à condition, bien entendu, qu'on ne recherche pas des mensurations.

Dès lors, la méthode monopolaire d'excitation des tubes de Röntgen présente, sous quelque aspect qu'on l'examine, des avantages qui devraient logiquement l'imposer dans la pratique médicale. Elle permet, en effet, toutes les variations de distance et d'orientation, que la crainte des décharges latérales interdit absolument à la méthode bipolaire.

Par suite, l'observateur muni d'un tube monopolaire à lanterne peut réaliser la *mise au point* LA MEILLEURE à tous les points de vue.

B.— **Image endodiascopique**.— Dans les examens *endodiascopiques* buccaux et pelviens, les conditions expérimentales sont un peu différentes. Nous analyserons le cas de la bouche; les autres sont analogues.

Ici, nous avons des os, racines dentaires ou maxillaires, de dimensions peu variables d'un sujet adulte à l'autre ; au contraire, la distance e, entre cet os et l'écran, varie de 5 millimètres à 10 et 15 millimètres, pour des cas analogues, chez un sujet maigre ou gras, avec ou sans barbe. L'œdème vient encore mettre un obstacle à la dépression des tissus mous, dans un grand nombre de cas cliniques, surtout s'il y a en plus de l'hyperesthésie.

C'est donc la distance e qui devient ici l'élément principal, d'autant plus que δ est forcément très limité, et ne dépasse pas 30 à 35 millimètres dans les cavités buccales les plus grandes.

D'une manière générale, en nous appuyant sur les résultats précédents, nous dirons : qu'à un rapprochement aussi grand que possible de l'écran et de la partie à explorer, on doit adjoindre l'éloignement maximum du focus à la région examinée.

Toutefois, des considérations géométriques, relatives à l'orientation de l'écran, sont ici nécessaires.

Dans le cas précédent, en effet, nous avons supposé — ce qui est alors toujours possible — que le focus était placé sur la normale centrale, commune à la surface explorée, et à l'écran fluorescent placé parallèlement à elle.

Dans le cas actuel, les conditions sont différentes : on doit placer le focus à la *distance maxima* du centre de la racine dentaire à explorer — condition primordiale pour éviter la déformation, qui est ici un phénomène prépondérant, et pour diminuer l'agrandissement, qui est souvent $\frac{1}{2}$, rarement moins de $\frac{1}{3}$.

La position du focus étant généralement imposée par l'anatomie, l'orientation résultante est telle, que la ligne joignant le focus au centre de la dent explorée est souvent *oblique* dans tous les sens, par rapport à l'*élément* utile de l'écran employé.

Cet élément utile, qui est en contact avec la partie musculaire extérieure la plus voisine de la dent examinée, est souvent même dans une position encore plus oblique que la dent.

De telle sorte que, au lieu d'une image *agrandie*, on obtient une image *déformée*, ainsi que le montre la figure ci-dessous :

Soit AB la dent explorée du maxillaire supérieur (ce qui est le cas le plus difficile), dont le point central est C ; en plaçant le tube de Röntgen à la distance maxima de C, tout contre la dent inférieure

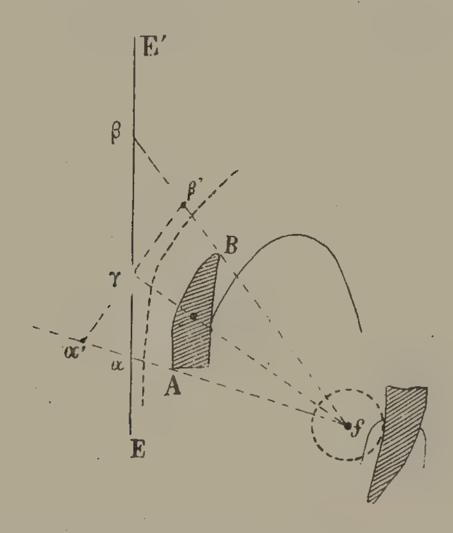


Fig. 294. — Coupe transversale schématique des maxillaires, montrant une dent inférieure, et la dent supérieure opposée de l'autre côté : AB, dent supérieure ; I, dent inférieure ; V, voûte palatine.

opposée, de l'autre côté, on lui donne une position telle, que le focus est en *f*; l'écran, en contact avec la joue, est placé en EE'.

Dès lors, si l'image de la couronne, qui se forme en $\alpha\gamma$, est seulement *agrandie* d'un tiers environ, celle des racines est agrandie de 3 à 5 fois sa longueur ; l'ensemble est *déformé*, et ne donne aucune indication, dont on puisse tirer grand parti dans la pratique.

Pour éviter cette déformation, il faut placer l'écran, non pas en *contact*, avec dépression uniforme des muscles de la joue, mais en l'*orientant* de telle façon qu'il soit *normal* à la ligne joignant le centre du focus au centre de la dent examinée. Le tube doit être placé lui-même aussi près que possible de la dent symétrique, dans le cas qui nous occupe.

L'image $\alpha'\beta'$ ainsi obtenue présente alors un agrandissement uniforme, plutôt favorable à la lecture des détails. Les éléments les plus courants à ce point de vue donnent, en conservant la notation précédente :

$$\delta = 30 \text{ millimètres}; \qquad \varepsilon = 10 \text{ millimètres}.$$

L'agrandissement moyen est donc de 1/3.

Dans la figure suivante, représentant une projection horizontale de la cavité buccale en A, on reconnaît la double obliquité de l'axe des rayons, par rapport à la face externe de la dent ; en examinant les coupes transversale B, et longitudinale C (fig. 295), cette direction oblique se manifeste encore plus nettement.

Sur la figure B, on a représenté, en perspective, l'image formée sur

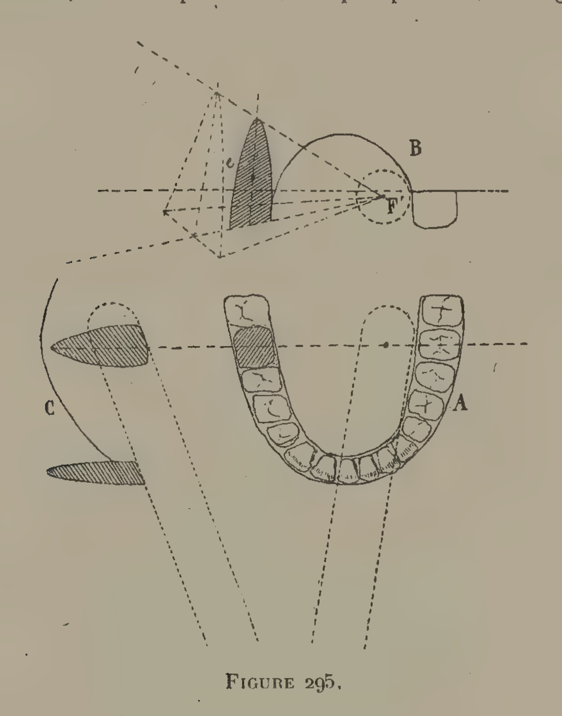


Figure 295.

l'écran, telle qu'elle se présente dans l'ensemble. On remarquera qu'il est parfois avantageux de ne pas introduire trop loin le tube de Röntgen, l'*orientation* ayant ici plus d'importance que la *distance*.

Il est difficile de remplir cette condition de l'*orientation* la meilleure, par une détermination purement géométrique ; divers éléments, tels que la barbe, l'œdème, venant souvent encore accroître la difficulté, la théorie serait constamment en défaut.

Heureusement, dans la pratique, il suffit généralement de se placer dans les conditions qu'on juge être les plus avantageuses, en tenant compte des considérations qui précèdent ; puis, en se déplaçant peu à peu, en faisant varier simultanément les positions respectives du focus et de l'écran, on arrive rapidement à l'image la meilleure, à la fois comme netteté et comme forme.

Nous ne pouvons mieux faire comprendre cette opération de la *mise au point*, particulière à l'endodiascopie et, dès lors, peu familière aux radiologues, qu'en la comparant à la *mise au point* des appareils astronomiques ou des microscopes.

Nous verrons comment, dans les instruments d'application, on a tenté la combinaison de dispositifs permettant d'obtenir les déplacements nécessaires, et de fixer, au besoin, une plaque ou une pellicule, à l'endroit exact où se trouvait l'écran, donnant la meilleure image possible.

C. — Manudiascopes

Les conditions d'un bon examen des images radioscopiques exigent que celles-ci se forment sur une surface de grandeur comparable à la leur, de façon à éviter la présence d'une zone lumineuse fort gênante, par ce fait même qu'elle entoure l'image d'une sorte d'auréole brillante, empêchant de distinguer les détails que l'on cherche.

A un autre point de vue, nous avons établi plus haut que la distance e, entre la partie explorée et la surface fluorescente, devait être aussi faible que possible, et que, dans tous les cas, l'*orientation* de la surface de l'écran, par rapport au faisceau de radiations, avait une importance capitale.

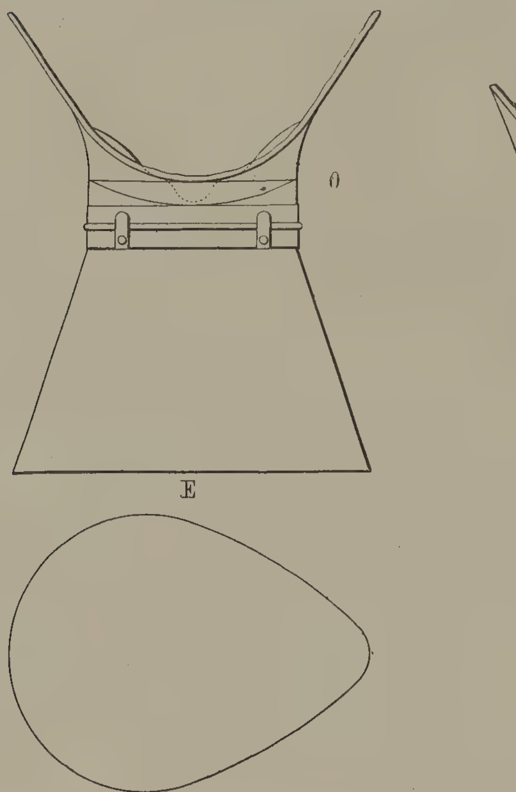




Fig. 296 — Grand manudiascope.

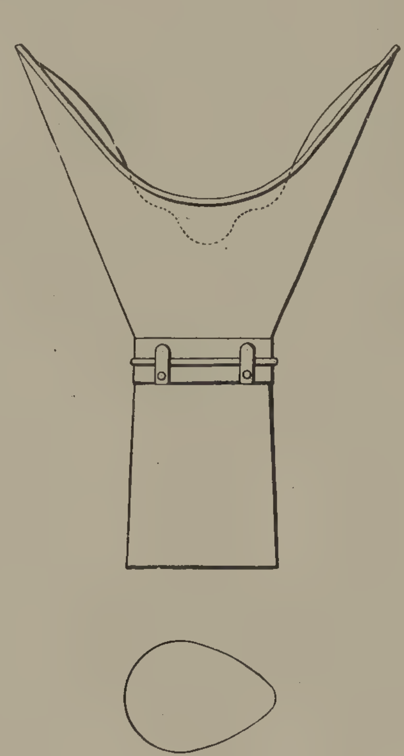


Fig. 297. — Petit manudiascope.

Enfin, la conformation des diverses parties du corps humain, les positions relatives du tronc et des membres, ou des différentes régions de ceux-

ci, sont de telle nature, qu'une surface fluorescente à périmètre rectangulaire ne permet, le plus souvent, que des observations pénibles pour le médecin, et difficiles à réaliser pour le sujet.

L'ensemble de ces nécessités nous a conduit à adopter deux grandeurs principales d'*écran* : l'une dont les dimensions sont 18/24 (fig. 296), l'autre 4 $^1/_2$/6 (fig. 297) ; la forme en est celle d'un ovale reproduisant à peu près le profil d'un œuf.

Ces écrans sont placés à l'extrémité d'un cylindre léger, opaque, que nous appelons *objectif*, et dont l'asepsie est rendue facile par le dispositif pratique adopté.

Les yeux de l'observateur s'appliquent sur une partie dite *oculaire*, qui est étanche à la lumière, par ce fait qu'elle est munie de rebords souples, s'adaptant exactement au front et aux joues, par simple pression, et qu'elle est bordée d'une bande de peluche noire.

L'objectif et l'oculaire sont réunis par un cylindre droit, muni ou non



Fig. 298. — Examen d'un coude avec la lanterne et le petit manudiascope.

d'une pièce métallique, suivant la grandeur, mais disposée de telle sorte, que le grand axe de l'écran puisse prendre toutes les orientations possibles, par rapport à l'axe longitudinal de l'appareil, qui représente la ligne immobile de vision.

L'instrument complet ainsi réalisé est résistant et permet à l'observateur de s'appuyer, comme pour un examen au microscope ; néanmoins, sa légèreté et son petit volume le rendent très facilement maniable (*de la main*

gauche de préférence, ce qui permet à la droite de tenir la lanterne) ; c'est pour ce motif, que nous l'avons appelé *manudiascope* (fig. 298).

§ 4. — Étude des courants induits au moyen de l'analyseur d'induction.

L'excitateur logique des tubes de Röntgen unipolaires et des endodiascopes est la machine statique Carré, ou le générateur monopolaire d'induction, que nous avons combiné, M. Rémond et moi, au cours de nos recherches communes, et que j'ai présenté, en septembre 1899, à l'*Association française pour l'avancement des sciences*, à Boulogne-sur-Mer.

Mais il y avait intérêt à employer les appareils existants, bobines et transformateurs d'induction, machines statiques du modèle courant, etc. C'est dans ce but que M. Rémond a imaginé un instrument intermédiaire, qu'il a appelé *analyseur d'induction*, et dont nous allons donner la description, et faire connaître les propriétés et le mode d'emploi.

Tous les appareillages deviennent ainsi propres à l'excitation monopolaire et à l'endodiascopie, dans les limites de leur puissance initiale. Nous dirons plus loin comment on détermine le rendement effectif en monopolaire d'un appareil donné.

A. — Principe de l'appareil

L'analyseur d'induction réalise deux circuits isolés, allant de *chacun des pôles* de l'appareil employé (bobine ou machine statique) *au sol*.

Ces deux circuits peuvent être *interrompus* entre pointes et boules convenablement orientées, ou conservés *continus*. Ils sont réunis à leur départ par une *dérivation*, dont on peut faire varier la *distance explosive*, pendant la marche, à partir du *contact*.

L'isolement des circuits est obtenu simplement, en les établissant aux sommets de colonnes de verre ou d'ébonite, ayant une hauteur déterminée par la puissance initiale des appareils employés.

Dans la pratique, MM. Radiguet et Massiot, constructeurs brevetés de l'analyseur d'induction, ont établi deux modèles répondant à toutes les exigences : l'un allant jusqu'à 20 centimètres, l'autre jusqu'à 50 centimètres d'étincelle entre pôles.

B. — Description de l'analyseur d'induction

Sur un plateau de bois (fig. 299) sont fixées quatre colonnes isolantes A, B, C, D, portant à la partie supérieure des bornes ou des glissières guidées.

Deux de ces colonnes, B et C, se relient électriquement à une lame métallique L, que l'on met elle-même en connexion avec *un sol* établi avec soin (conduite de gaz ou d'eau, toiture métallique, rampe d'un balcon de fer, ou même simplement masse des accumulateurs ou du condensateur).

La lame de sol porte trois bornes : l'une centrale, V, se réunit au fil de terre ; la seconde au courant primaire, en un point situé entre l'interrupteur et la bobine ; la troisième reçoit le fil *anodique* des tubes monopolaires ou des endodiascopes employés.

Nous appellerons colonnes *antérieures* celles qui ne sont pas réunies à la lame du sol ; ces colonnes antérieures (A et B sur la fig. 299) portent la

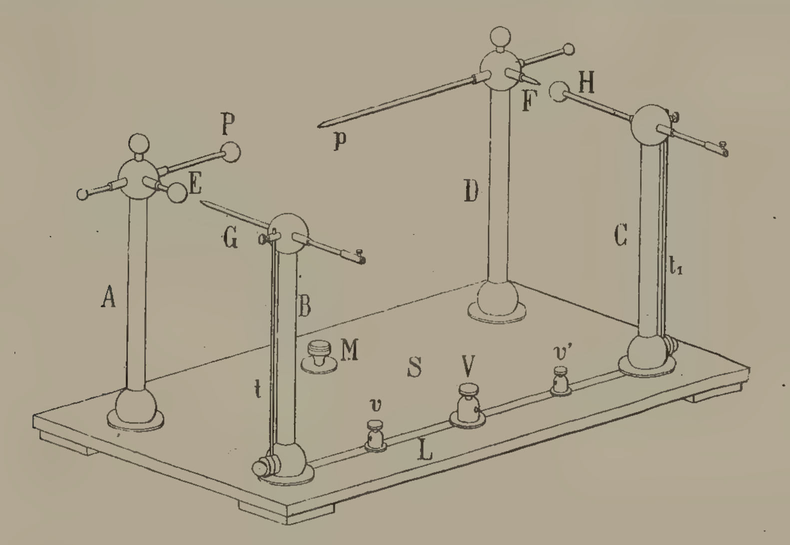


Fig. 299. — Analyseur d'induction.

dérivation mobile pendant la marche, qui sert à contrôler le rendement de l'appareil et l'état du tube au point de vue de sa résistance électrique.

C. — Emploi de l'appareil

Pour employer l'analyseur d'induction, on réunit la borne centrale V au fil de sol, et l'une des bornes latérales au primaire de la bobine ; on relie alors les pôles du secondaire de celle-ci aux colonnes *antérieures*, et l'on amène en contact les tiges de la dérivation.

Voici quelles sont les principales propriétés de cet appareil de physique :

A. — **Repérage**. — On commence par *repérer* le générateur employé de la manière suivante : on écarte à leur maximum d'éloignement les pointes et boules G, H, des circuits allant au sol ; puis, mettant l'appareil en marche, on note sur les instruments de mesure la tension et l'intensité du primaire.

On cherche par tâtonnement l'étincelle maxima, que l'on peut obtenir d'une manière continue, entre les pôles de la dérivation.

On établit ainsi un *tableau*, auquel nous nous référerons fréquemment par la suite, et qui comporte, pour les longueurs principales de l'étincelle maxima du générateur, les constantes du courant primaire nécessaire et la capacité correspondante du condensateur.

Voici un spécimen de ce tableau :

ÉTINCELLE MAXIMA		10 cent.	15 cent.	25 cent.	OBSERVATIONS
Primaire	Volts.	8	12	16	
	Ampères.	1,5	2	3	
	Condensateurs . .	20 feuilles	30 f.	50 f.	
	(*Unités conventionnelles.*)				

Il a été établi pour une bobine sans nom de constructeur, rencontrée dans un laboratoire de physique, et de date déjà ancienne.

En principe, nous donnons la préférence aux courants primaires à tension aussi élevée que possible. On partira donc du voltage maximum dont on dispose, et on mettra l'interrupteur en marche, avec une faible intensité (un ampère par exemple) ; on s'assurera, par la lecture de l'ampèremètre apériodique, que la dépense du primaire est bien régulière. On écartera alors les électrodes de la dérivation jusqu'à la distance voulue, 10 ou 15 ou 25 centimètres, etc.

On agira simultanément sur les éléments du primaire et du condensateur, jusqu'à ce qu'on obtienne l'état de régime pour l'étincelle du secondaire.

Quand ce résultat est atteint, on lit les indications des appareils, et on les note au tableau ; en répétant ces déterminations un certain nombre de fois, on peut être assuré, qu'en reprenant les mêmes constantes pour le primaire, on obtiendra au secondaire une décharge, dont l'énergie et l'ensemble des qualités seront sensiblement les mêmes.

C'est d'ailleurs ce que nous admettrons dans la suite de cet exposé, nous appuyant sur les très nombreuses expériences que M. Rémond et moi avons faites à ce sujet, sur les appareils d'induction les plus divers, depuis près de trois ans.

Quand nous parlerons d'une décharge excitatrice de *telle* longueur d'étincelle, cette donnée sera relative au générateur d'induction employé et repéré comme il vient d'être dit, car des étincelles de même longueur, données par des bobines différentes, fussent-elles d'un même constructeur, ne *sont pas comparables*. Certains expérimentateurs, ayant cependant une expérience personnelle bien établie, se sont fait, sur ce point, de singulières illusions.

B. — **Étude de la décharge.** — *a*) Séparation des décharges élémentaires. — La première expérience qu'on réalise, avec l'analyseur d'induction, consiste à séparer les deux chutes de potentiel élémentaires, qui constituent la décharge totale de l'appareil employé.

L'un des pôles est au niveau $+ V_1$, l'autre au niveau $- V_2$. Quand la bobine d'induction présente une symétrie parfaite et un enroulement convenable, V_1 et V_2 sont égaux en valeur absolue, et la chute totale peut être représentée ainsi :

$$V_1 + V_2 = 2V,$$

en désignant par V la valeur commune de V_1 et V_2 ; les décharges élementaires ont en effet la même longueur.

Mais si, pour une cause quelconque, V_1 et V_2 n'ont pas la même valeur, les deux chutes de potentiel correspondent à des étincelles élémentaires inégales, et dans le même ordre.

Voici comment on procède, avec l'analyseur d'induction, pour déterminer les composantes de la décharge totale.

On met en contact les pointes et boules des circuits EG, HF, allant au sol, et on écarte légèrement, au-dessus de la longueur de l'étincelle maxima, les électrodes P, *p* de la dérivation.

Puis, agissant à la main sur les tiges glissant dans les colonnes de sol B, C, de l'analyseur, on écarte peu à peu et jusqu'à refus les pointes et boules G, H, formant l'interruption. Quand on est arrivé à l'état d'équilibre aussi parfait qu'on peut l'établir entre des décharges d'induction, les étincelles éclatent simultanément aux deux circuits de sol EG, HF, et en même temps à la dérivation P*p*.

Les distances explosives des circuits allant au sol sont proportionnelles aux chutes élémentaires de potentiel. On reconnaît donc si V_1 et V_2 ont la même valeur, ou des valeurs différentes ; dans ce dernier cas, on note le pôle dont la tension est la plus élevée, et on en fait le pôle *négatif* du secondaire, par un choix convenable du sens du primaire.

Loin d'être un désavantage pour l'excitation monopolaire des tubes de Röntgen, la dissymétrie du générateur d'induction est plutôt favorable, en ce qu'elle le rapproche d'un appareil monopolaire, ce qui permet d'en obtenir de meilleurs résultats, et surtout une quantité d'énergie utile plus considérable.

Si V_1 et V_2 sont égales, et sauf les modifications de *qualités* de la décharge, dont il sera question plus loin, on ne pourra jamais employer utilement à une excitation monopolaire plus de la *moitié* de l'énergie *secondaire* des appareils dont on dispose.

b) Variation des qualités des décharges élémentaires. — 1° *Description des phénomènes.* — Dans la partie théorique précédant la description du générateur monopolaire Bouchacourt et Rémond, nous avons indiqué, en passant, que les *deux parties d'un circuit induit*, situées de part et d'autre du plan médian de symétrie d'un inducteur, *réagissaient l'une sur l'autre* et donnaient des phénomènes complexes utiles à connaître, pour réaliser l'excitation la meilleure d'un tube de Röntgen donné. L'analyseur d'induction va nous permettre d'étudier ces phénomènes, et de les reproduire à volonté.

Supposons l'analyseur réglé comme on vient de le dire, et éloignons les électrodes P, *p* de la dérivation, de telle sorte que les étincelles cessent complètement entre elles.

Si l'on rapproche lentement et progressivement, les points d'éclatement de l'une des étincelles élémentaires, en s'arrêtant à chaque petit mouvement, on constate que l'autre étincelle change de caractère d'une manière correspondante. D'unique qu'elle était au début, elle devient rapidement multiple, puis elle prend l'aspect d'une chenille, au moment où l'étincelle, variable de longueur, présente elle-même cet aspect. A plusieurs reprises, et d'une façon bien marquée, l'étincelle dont on laisse fixe la longueur est accompagnée périodiquement, avec une fréquence plus ou moins grande, de détonations très fortes, dont le bruit est tout à fait analogue à celui d'une décharge de condensateur ; à d'autres moments, au contraire, les étincelles se succèdent avec un bruit uniforme et une grande régularité d'aspect.

Si, maintenant, on se replace dans les conditions initiales, et qu'au lieu de *rapprocher* les électrodes du circuit variable, on les *éloigne*, on constate que les étincelles cessent *ensemble*, pour éclater de préférence à la dérivation P*p*, si les extrémités de celle-ci ne sont pas trop éloignées. Quand on est arrivé à cet état, il suffit de rapprocher les électrodes variables pour que les étincelles reprennent leur cours.

Si la dérivation est très écartée, on entend un bruit sourd dans le générateur; aucune étincelle ne part ; mais, si l'on se place dans l'obscurité complète pendant un certain temps, on constate la présence d'aigrettes, de lueurs, aux deux pôles de la bobine et à toutes les pièces métalliques avoisinantes.

Pour beaucoup de bobines, cette expérience présente de graves dangers de courts-circuits intérieurs ; il est prudent de s'en abstenir, ou tout au moins de ne pas insister, si la bobine n'est pas garantie increvable par son constructeur.

Longueur maxima d'une étincelle élémentaire. — Supposons que, dans l'expérience précédente, nous soyons arrivé au *contact*, pour les électrodes dont on faisait varier la distance. Écartons lentement celles de la décharge unique qui reste. On constate facilement ceci :

a) *Si la décharge conservée est positive*, l'étincelle s'allonge et peut atteindre, sans cesser, jusqu'aux deux tiers environ de la décharge bipolaire maxima de la bobine ; cette proportion de *deux tiers* est un maximum, que nous avons atteint quelquefois, jamais dépassé ;

b) *Si la décharge conservée est négative,* l'étincelle s'allonge facilement jusqu'à la longueur précédente (deux tiers de la décharge totale) et s'y maintient régulièrement, sans éclats. Elle peut même atteindre, en longueur, les *trois quarts* de la décharge maxima ; mais le plus souvent l'éclatement est alors irrégulier : on ne peut atteindre cette longueur qu'avec certaines précautions.

Les résultats précédents ne sont obtenus que quand toutes les conditions

de l'expérience sont remplies ; si, notamment, le réglage initial n'est pas rigoureusement observé, les résultats sont complètement faussés.

C'est ainsi que, si, avec une bobine à tensions polaires inégales (ou dissymétrique), donnant 30 centimètres entre pôles, constitués par 5 centimètres positifs et 25 centimètres négatifs, on provoque la décharge à 25 centimètres, ou même 26 ou 27, on ne constate aucune cessation dans la décharge, ni de changement dans son aspect, si on met au sol le pôle *positif*. On se trouve placé, en effet, dans des conditions telles, que la sensibilité plutôt grossière de notre mode de repérage de l'étincelle, consistant en un simple examen à l'œil, est tout à fait insuffisante pour faire une observation de physique.

Mise au sol. — Il est facile maintenant de se rendre compte des phénomènes qui se produisent, quand *on met purement et simplement au sol* le pôle positif d'une bobine dont la construction permet ce mode de fonctionnement : on diminue la puissance de l'appareil de *un tiers* environ, et l'on obtient une décharge *fixe dans ses qualités*, celle que nous avons observée tout à l'heure, quand notre second circuit était au contact.

Il convient donc, dans tous les cas, d'employer l'analyseur d'induction, puisque celui-ci permet, avant le contact, de faire passer la décharge utilisée par un grand nombre d'états intermédiaires, que nous allons expliquer maintenant, et dont nous donnerons plus loin le mode d'emploi à l'excitation la meilleure d'un tube de Röntgen quelconque.

2° *Analyse de la décharge conservée.* — Les changements de la décharge variable entraînent, dans le circuit de l'autre décharge, des modifications profondes, dans l'examen desquelles nous nous limiterons systématiquement aux phénomènes que nous appliquerons dans la pratique.

Les détonations avec éclats violents, périodiques, que nous avons signalées plus haut, sont dues à des décharges inverses de celles que l'on étudie. Il semble que les courants induits correspondant à la fermeture du primaire, beaucoup plus faibles que les autres en général, varient d'inten-

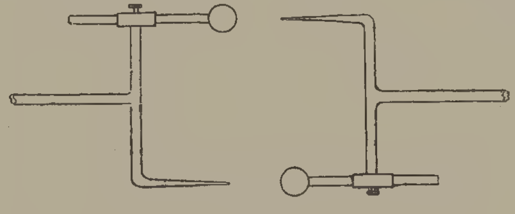


FIGURE 300.

sité avec la décharge auxiliaire ; à certains moments, ils passent comme les courants directs ; à d'autres, ils chargent peu à peu les électrodes et éclatent bientôt brusquement, comme s'il y avait un condensateur.

On peut mettre ce fait en évidence en se servant d'une propriété simple des électrodes couramment employées. On sait qu'entre un système formé

d'une pointe et d'une boule, ou d'une pointe et d'un plateau, la décharge se fait *beaucoup* plus facilement, si la *pointe* est reliée au *pôle positif*.

Pour mettre en pratique cette propriété, nous avons fait établir un système formé de deux pointes et boules alternées, montées sur une même tige, et pouvant varier d'écartement chacune pour son compte propre (fig. 300).

Si l'on arme de ce dispositif les électrodes entre lesquelles éclate la décharge observée, on constate les faits suivants, pendant la variation lente et progressive que subit la décharge auxiliaire, sous l'influence des modifications dans l'écartement :

1° Pendant un certain temps, l'étincelle se produit par exemple en haut, avec régularité, alors qu'elle n'éclate pas en bas ;

2° Quand on diminue progressivement l'écartement, à un moment donné, en même temps que celle du haut, on observe une étincelle en bas ; et, si celle du haut a son point brillant sur la boule, celle du bas a également son point brillant sur la boule qui la reçoit ; ces deux décharges sont donc de sens contraire. Si, à ce moment, on écarte beaucoup la boule du bas, on entend les détonations signalées plus haut, espacées comme il a été dit, à cause de la résistance des armatures au passage de ces décharges, en opposition avec leurs formes ;

3° Par un réglage convenable, on peut obtenir deux décharges simultanées, de même aspect, l'une en haut, l'autre en bas ; les courants induits de fermeture et de rupture ont alors des *qualités* comparables comme durée, intensité, tension, etc. ;

4° Il est possible d'arriver à *renverser* complètement le sens du courant induit principal. Pour cela, on commence comme plus haut, et, si on dépasse avec précaution le moment où les deux courants passent simultanément, on peut éteindre complètement l'étincelle du haut et n'avoir que celle du bas.

Il résulte de ce qui précède que la seule variation de la distance explosive de l'*un des circuits élémentaires* produit, toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire pour chaque valeur du primaire employé, des variations profondes, allant jusqu'à l'*inversion* du courant principal, *dans le circuit opposé*.

Les expériences précédentes se produisent avec netteté, pour certaines valeurs du primaire dans chaque bobine, moins nettement pour les autres valeurs.

En réalité, il s'agit là de physique pure, et cette expérimentation est une véritable manipulation de laboratoire.

C. — Réglage d'un tube de Röntgen

En indiquant comment nous faisons l'application des propriétés précédentes à l'excitation la meilleure d'un tube de Röntgen, nous rencontrerons un moyen pratique, quoique détourné, de mettre en évidence, d'une manière frappante, les variations de tension, d'intensité, de sens même, du courant

excitateur : nous voulons parler de la fluorescence du verre dans les tubes employés.

a) **Mode opératoire.** — Prenons un tube de Röntgen *pouvant être excité* par l'appareil d'induction dont on dispose. Plaçons-le sur le circuit qu'on vient d'étudier, et conservons au primaire la valeur moyenne du tableau de repère établi plus haut.

Si nous faisons varier l'écartement des électrodes de réglage, nous constaterons successivement que le tube de Röntgen présente la double *fluorescence* provenant du passage des deux courants induits inverses. Il arrivera un moment, où ces deux fluorescences auront presque le même éclat.

Puis, continuant dans le même sens, l'une des deux fluorescences deviendra prépondérante, l'autre diminuant jusqu'à l'extinction.

Le rapprochement de ces aspects lumineux avec les faits exposés au paragraphe précédent s'impose trop facilement pour que nous nous y arrêtions.

En *pratique*, pour obtenir l'excitation la meilleure d'un tube de Röntgen, au moyen de l'analyseur d'induction, la manœuvre est donc très simple : ayant mis le tube excitable dans le circuit convenable, on fait varier de longueur l'étincelle auxiliaire, jusqu'à ce que le tube soit bien éclairé, divisé en deux parties nettement séparées, suivant le plan de l'anticathode, et qu'il ne présente aucune trace de la fluorescence à marche inverse.....

L'état des tubes variant avec l'usage, et même pendant la marche, quand celle-ci est un peu prolongée, l'analyseur d'induction permet d'opérer le réglage à tout instant, même pendant le fonctionnement, sans aucune manœuvre préalable, telle que chauffage ou autre.

Avec un peu d'habitude, on arrive à très bien juger de la marche d'un tube de Röntgen, en examinant seulement sa fluorescence. Mais on peut employer un élément en apparence plus précis : l'étincelle équivalente à la résistance électrique du tube, dans les conditions de l'expérience. Cette étincelle équivalente se détermine à chaque instant, au moyen de la dérivation établie entre les colonnes antérieures de l'analyseur, et du bouton moleté M (fig. 299), qui en commande les électrodes pendant la marche, grâce à la transmission *isolante* qui relie le bas et le haut de l'appareil.

b) **Dispositif pour élever la tension.**— L'un des circuits de l'analyseur d'induction porte un dispositif qui permet de placer avant le tube de Röntgen une décharge disruptive dont nous allons faire connaître le mode d'emploi.

Si, sur un circuit allant au sol, on intercale une étincelle, on provoque, dans la partie comprise entre le sol et cette étincelle, un courant induit du second ordre, de quantité faible, mais de tension plus élevée. En réalité, tous les courants d'ordres supérieurs sont oscillatoires; mais nous ne parlerons que du courant principal.

Or, si l'on excite un même tube de Röntgen, avec des courants de tensions croissantes, on constate que, toutes choses égales d'ailleurs, les rayons obtenus sont de plus en plus pénétrants.

Si donc un tube est mou, ou si l'on veut, pendant une observation radioscopique, comparer les images obtenues avec des rayons plus ou moins pénétrants, il suffit de faire fonctionner l'élévateur de tension pour obtenir tous les résultats désirés. La sensibilité de ce mode d'excitation est telle qu'un tube mou, au degré de *vide de Geissler*, ne donnant pas de rayons X par l'emploi ordinaire de la décharge, arrive facilement à donner des rayons *très pénétrants*, au moyen de ces courants induits du second ordre.

Pour employer l'élévateur de tension, on supprime la *tige de sol* (*t* sur la fig. 299) de la colonne postérieure correspondante ; et on relie le fil cathodique de l'ampoule à la borne de la colonne ainsi isolée.

Pendant la marche, on fait varier la longueur de la décharge disruptive au moyen du bouton molete placé au pied de la colonne isolée, et on donne ainsi aux rayons obtenus le degré de pénétrabilité voulue.

c) **Influence de la capacité électrostatique.** — Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que les *électrodes* du circuit de réglage et de l'élévateur de tension étaient uniques pendant l'emploi. Dans ces conditions, on rend, en effet, les résultats plus simples ; et si les boules sont de faible diamètre, et les tiges filiformes, les décharges intercalées agissent principalement sur la *tension* des divers courants produits ; c'est à l'exposé de ces propriétés principales, que nous nous sommes borné jusqu'ici.

Mais si on remarque que les tubes de Röntgen, excités par le courant induit d'une bobine ou d'une machine statique, suivant la méthode habituelle, ou par les courants du second ordre, produits par l'élévateur de tension, ont des capacités électrostatiques très variables, on en conclura que, pour obtenir le fonctionnement *le meilleur* d'un tube donné, il ne suffit pas que le courant excitateur ait une tension convenable : il lui faut encore une *quantité* appropriée à la capacité électrostatique du tube dont on se sert.

Dans le mode d'excitation que nous employons avec l'analyseur d'induction, nous pouvons, au moyen du circuit de réglage, faire varier dans des limites étendues les propriétés de la décharge excitatrice et obtenir, par ce dispositif, combiné au besoin avec l'élévateur de tension, un bon fonctionnement d'un tube quelconque excitable, comme nous l'avons dit précédemment, par les appareils dont on dispose.

Mais il se rencontre des tubes pour lesquels la capacité électrostatique est très grande et qui exigent, notamment, qu'en élevant la *tension* du courant excitateur, on lui conserve une *quantité* assez grande.

Ce résultat s'obtient très simplement, en remplaçant les boules de petit diamètre des interrupteurs par des boules plus grosses. Chaque analyseur doit donc être accompagné d'un jeu de boules de diamètres différents, et qui permettent d'étendre considérablement les limites de variation de la *quantité* de la décharge.

L'action du diamètre des boules est en effet très grande et se manifeste de la manière suivante : quand on a réglé l'analyseur pour la séparation des décharges élémentaires, en employant les plus petites boules que comporte

l'appareil, il suffit de remplacer celles-ci par des boules plus grosses, pour constater :

1° Que les décharges disruptives obtenues ont augmenté de quantité ; les étincelles sont larges, blanches ; leur bruit rappelle celui d'une décharge de condensateur ;

2° Que les décharges élémentaires obtenues par un nouveau réglage sont plus courtes que les précédentes ;

3° Que les phénomènes sont d'autant plus marqués que le diamètre des boules est plus grand.

Si nous revenons en arrière, et que nous nous reportions aux observations que nous faisions précédemment, relativement à l'étincelle de la dérivation de l'analyseur, à l'étincelle équivalente d'un tube donné et aux étincelles élémentaires d'une décharge bipolaire, nous voyons que tous ces éléments dépendent de la forme et de la dimension des *électrodes* en présence.

On comprend donc, maintenant, toute la *contingence* que présente la simple *longueur* d'une étincelle, et combien peu précis est un tel élément de repère, si on l'applique en dehors d'un appareillage non seulement bien déterminé, mais encore toujours maintenu dans le même état matériel.

Enfin, la règle que la décharge bipolaire d'un appareil donné est la somme des décharges élémentaires, autrement dit : que la longueur de l'étincelle bipolaire est la somme des longueurs des étincelles élémentaires (de même que la chute totale de potentiel est la somme des chutes de potentiel élémentaires) n'est pas absolue : elle n'est vraie et ne se vérifie que si les électrodes de la dérivation et des circuits auxiliaires n'influent pas sensiblement sur les décharges se faisant entre elles.

Autrement dit, il faut, pour cela, que l'électrode positive soit une pointe effilée, dont le métal soit à nu, non oxydé, et que l'électrode négative soit une sphère, ou un disque de faible diamètre, en métal nu et fréquemment repoli.

Dans la pratique radiographique, ces précautions ne sont pas nécessaires : l'expérience montre, en effet, que, dans le voisinage du fonctionnement le *meilleur*, la décharge excitatrice d'un tube donné peut varier dans des limites appréciables sans qu'il y ait grand changement dans la marche du tube. C'est même ce caractère bien net de *fixité dans l'aspect*, que l'on reconnaît facilement, qui indique l'obtention du régime électrique convenant au tube que l'on emploie.

Si, quand cette *fixité maxima* est atteinte, les résultats ne sont pas bons à l'examen fluoroscopique, c'est que le *tube lui-même* est défectueux, ses éléments étant mal combinés ou mal placés, etc.

Le premier soin de l'expérimentateur en possession d'un matériel donné doit donc être d'étudier, de repérer, et de classer les tubes de Röntgen dont il dispose.

Il cherchera, pour chacun d'eux, le régime électrique qui lui convient,

en suivant la marche qu'on vient d'indiquer ; il en notera avec soin les éléments dans un tableau constamment tenu à jour.

De cette façon, il obtiendra avec certitude et très rapidement de bons résultats dans tous les cas qui se présenteront à lui, à condition, bien entendu, que le matériel dont il dispose soit convenable. Cette recommandation s'applique à la radioscopie encore plus qu'à la radiographie.

D. — Conclusions

Si nous avons tant insisté sur le mode de fonctionnement des tubes de Röntgen, c'est que, quand on veut se livrer à des recherches d'endodiascopie, il est absolument indispensable que la marche de l'ampoule en contact avec l'organisme soit parfaitement normale et régulière.

Ce n'est qu'à cette condition qu'on obtient une belle image sur l'écran fluorescent et — ce qui est plus important encore — l'insensibilité du patient vis-à-vis des phénomènes électriques qui se produisent au contact de ses tissus.

On comprend facilement, en effet, que l'éclatement des étincelles entre les armatures, à l'extérieur du tube de Röntgen, doive être ici absolument proscrit : alors que, dans le mode d'excitation ordinaire, ces décharges extérieures n'ont pas d'autre inconvénient que d'effrayer le malade, elles sont intolérables dans le sein de l'organisme.

§ 5. — **Résumé général et conclusions sur la méthode unipolaire.**

Il est un point sur lequel je voudrais insister en terminant : c'est celui de l'agrandissement et de la déformation inévitables de ces images en unipolaire, à cause précisément de la brièveté du cône de projection.

Ce caractère, inhérent à la méthode, nécessite toute une étude préalable de ce genre d'images pour permettre leur interprétation d'une façon utile.

Ces images présentent, en effet, deux zones très différentes :

L'une, qui n'est qu'agrandie, tout au moins dans une petite région limitée autour du centre de projection ;

L'autre zone, forcément très déformée, surtout si on emploie les plaques photographiques (les pellicules s'adaptent mieux aux surfaces arrondies du corps), est inutilisable directement.

Il faut donc, de toute nécessité, faire abstraction de cette dernière zone et ne pas chercher à avoir une vue d'ensemble de la région à examiner.

C'est précisément ce qui constitue l'avantage, de l'examen pur et simple à l'écran fluorescent : c'est qu'en déplaçant simultanément l'ampoule et l'écran, on fait défiler successivement, dans la zone qui est seulement agrandie, toute la région à examiner.

Mais ce serait une erreur de croire que, une fois qu'on a mis l'image au point à l'écran, il est facile d'en prendre une radiographie en substituant une plaque (ou mieux une pellicule) à l'écran fluorescent.

Outre que cette plaque (ou cette pellicule) est difficile à fixer sur l'organe, à la place exacte de l'écran, sans déplacer ni le malade, ni le tube, l'immobilité de ces trois éléments solidaires : surface photographique, malade et tube, est presque impossible à conserver pendant la durée d'une minute, actuellement nécessaire à l'obtention d'une bonne image.

C'est là l'origine du manque de netteté de toutes les endodiagraphies.

Cette méthode unipolaire est donc surtout favorable à l'examen à l'écran fluorescent, ce qui doit suffire dans la grande majorité des cas : la conception ancienne du *document radiographique à conserver et à discuter* étant une idée théorique, qui me paraît destinée à disparaître, tout au moins en clinique.

Pouvoir tenir l'ampoule en marche à la main, la mettre en contact immédiat avec le patient et, enfin, l'introduire dans une cavité naturelle ou artificielle de l'organisme, sans que ni l'opérateur ni le malade ne perçoivent aucune sensation et ne courent aucun danger, tels sont les principaux avantages de l'excitation unipolaire des tubes de Röntgen.

Docteur L. Bouchacourt,
ancien interne des hôpitaux,
Chef de clinique adjoint à la Faculté de Médecine de Paris.

DEUXIÈME PARTIE

APPLICATIONS DE LA RADIOLOGIE A CHAQUE CAS PARTICULIER

I. — CORPS ÉTRANGERS

CHAPITRE PREMIER

TECHNIQUE

INTRODUCTION ET HISTORIQUE

Immédiatement après la découverte des rayons X, on appliqua ce nouveau moyen d'investigation à la chirurgie et surtout au diagnostic des lésions du système osseux et à la recherche des corps étrangers. Ces derniers, par la netteté de leurs ombres (on ne se préoccupait alors que des corps étrangers métalliques), avaient plus particulièrement frappé l'attention.

L'utilité de ce nouveau moyen de diagnostic s'imposa dès le début, et pour le montrer il nous suffit de faire quelques emprunts au rapport que M. le professeur Gross, de Nancy, a présenté au Congrès de chirurgie de 1897, c'est-à-dire à une époque où la technique n'avait nullement atteint le degré de précision qu'elle a aujourd'hui.

La première application à la chirurgie, dit-il, concerne la recherche et la *constatation des corps étrangers*. Problème d'une simplicité tout élémentaire dans bien des cas, le diagnostic de la présence d'un corps étranger est d'autres fois fort délicat et fort difficile, même impossible, malgré l'application la plus habile de nos moyens d'investigation ordinaires. Dans le doute, certes, une incision exploratrice faite dans une région superficielle, lors même qu'elle aboutirait à un résultat négatif, ne saurait présenter grand inconvénient, mais en est-il de même quand il s'agit d'explorer une région profonde ? La fluoroscopie et la radiographie nous renseignent aujourd'hui de la façon la plus exacte et sans aucune souffrance pour le malade. Les accidents d'érythème et autres signalés à la suite de leur emploi sont exceptionnels : nous n'en avons

jamais observé. Le moindre corps étranger, quelle que soit la profondeur à laquelle il siège dans nos tissus et nos organes, pourvu qu'il soit constitué par une substance imperméable aux rayons X apparaîtra sur l'écran fluorescent ou la plaque radiographique à côté de l'image du squelette de la région sous l'aspect d'un point, d'un trait, d'une tache dénotant son siège, sa forme, ses dimensions, sa nature. On reconnaît avec la plus grande netteté la présence d'une épingle, d'une aiguille, d'un éclat de verre, dans une main, par exemple. Lorsque l'examen radiographique ne révèle rien, le chirurgien est en droit d'affirmer, dans la majorité des cas, qu'il n'existe pas de corps étranger. Il évitera ainsi tous les ennuis et les inconvénients d'une recherche infructueuse, d'une tentative d'extraction inutile, opérations toujours pénibles, douloureuses, parfois même dangereuses, selon le siège et l'état des parties.

La nécessité d'un diagnostic rigoureux devient autrement importante pour les corps étrangers situés profondément. Nous savons tous, par expérience, combien la recherche et la constatation d'une épingle avalée, d'une pièce de monnaie déglutie, chez les enfants surtout, sont choses difficiles, même périlleuses, combien l'incertitude pour les manœuvres d'extraction expose parfois à des accidents. La fluoroscopie et la radiographie nous indiqueront le siège exact du corps étranger dans le pharynx ou l'œsophage, en préciseront la position, la forme, les dimensions, et cela sans douleur, même sans fatigue pour le patient. Quelle différence avec les conditions d'autrefois ! Combien n'a-t-on pas déjà tourmenté, blessé, je dirais volontiers, torturé d'enfants, en s'obstinant à chercher, même à vouloir extraire un corps étranger qui n'existait pas ou qui avait déjà glissé dans l'estomac ou dans l'intestin ! La radiographie nous donne tout autant de certitude dans le diagnostic des corps étrangers des voies aériennes. Grâce à elle, on a reconnu la nature de corps étrangers dans la vessie. Une série d'observations démontre les services rendus dans le cas de blessure par projectiles. Les rayons X ont aidé à déterminer la position exacte de grains de plomb et de balles de revolver dans les parties molles et les os des membres, dans le rachis, le thorax, les os de la face et du crâne, voire le cerveau, où par les moyens diagnostiques ordinaires ces corps sont le plus souvent introuvables. Le siège, la forme, les dimensions, la nature d'un corps étranger étant déterminés, plus d'hésitation, plus de fausse manœuvre, plus d'opération sans résultat, nous procéderons à son enlèvement avec facilité, précision, sécurité par le procédé de choix. Tous ceux qui se sont trouvés aux prises avec les difficultés parfois considérables de recherche et d'extraction de certains corps étrangers reconnaîtront le grand progrès obtenu.

Ces conclusions de M. le professeur Gross ont été confirmées et étendues par l'expérience de ces dernières années. Non seulement on peut reconnaître la présence des corps étrangers métalliques dans toutes les parties du corps, mais on le peut aussi pour de nombreux objets dont la densité se rapproche de celle des tissus de l'économie. C'est ainsi que récemment M. le professeur Bergonié a pu déceler une croûte de pain dans les voies aériennes d'un enfant. Le champ d'exploration pour la recherche des corps étrangers est donc très étendu ; il n'est plus de cas où on ne soit autorisé à essayer leur application et où on puisse prévoir à l'avance un résultat négatif. Il est vrai que pour ces corps étrangers, dont la densité est voisine de celle des tissus mous de l'économie, la recherche sera toujours très délicate et exigera beaucoup de sagacité de la part de l'opérateur. L'interprétation

des clichés radiographiques ou des images radioscopiques devra être faite avec beaucoup de prudence et en s'entourant de tous les moyens de contrôle connus. Il n'en est pas moins vrai que cette recherche est possible dans des cas qui, récemment, ne paraissaient pas tributaires des rayons X, et il est permis de penser que l'avenir étendra encore le champ d'exploration.

Dans presque toutes les applications de rayons X, et il en est ainsi dans la recherche des corps étrangers, on utilise, parmi les propriétés physico-chimiques que possèdent ces rayons, les deux suivantes :

1° Leur propriété de traverser inégalement les corps opaques à la lumière ordinaire sans se réfléchir ni se réfracter et suivant une proportion voisine de la densité de ceux-ci ;

2° L'aptitude qu'ont ces rayons d'impressionner une plaque photographique ou de rendre fluorescent un écran imprégné de certaines substances chimiques, platino-cyanure de baryum, tungstate de calcium, etc.

A côté de ces deux propriétés fondamentales, il en est une autre non moins importante à considérer pour le sujet qui nous occupe. Elle n'est pas, comme les deux précédentes, inhérente à la nature des rayons X, mais résulte uniquement du mode de production de ces rayons. On sait que, dans les tubes actuels, les rayons X sont produits par une surface assez limitée de l'anticathode pour que pratiquement on puisse la considérer commé réduite à un point. Il en résulte cette propriété, d'une importance capitale dans la recherche des corps étrangers, c'est que les rayons X, rayonnant dans toutes les directions, peuvent être considérés comme formant un faisceau divergent conique.

Les ombres portées sur la plaque sensible (radiographie) ou sur l'écran fluorescent (radioscopie) seront les projections coniques de l'objet. Le point de vue ou le sommet du cône de projection sera le point d'émission des rayons X.

Examinant ensuite la plaque photographique, par exemple, les objets nous paraîtront affecter sur ce plan des rapports autres que leurs rapports véritables, qui constitueront une source de confusions. C'est ainsi, par exemple, que les points du corps radiographié qui se trouvent sur une même direction passant par l'anticathode ont tous la même image, quelles que soient leurs hauteurs respectives au-dessus de la plaque.

Aussi, on comprend combien il est délicat par un simple examen d'une image radioscopique ou radiographique d'apprécier la position, la forme, les dimensions d'un corps étranger, d'autant plus que les ombres des différentes parties traversées, en se superposant, en enchevêtrant leurs contours, s'accentuent ou s'effacent. Il convient donc d'interpréter avec prudence les clichés obtenus ou mieux encore de les développer par des opérations complémentaires, afin de remédier à leur insuffisance et d'éviter les causes d'erreur.

Cette insuffisance des clichés radiographiques isolés ou des ombres montrées par l'écran a été constatée dès le début des applications des rayons X.

On s'est efforcé d'y remédier soit en employant des procédés *purement géométriques*, soit en employant la stéréoscopie.

Ainsi la technique des applications des rayons X pour la recherche des corps étrangers a été envisagée à deux points de vue différents : 1° on a cherché non seulement à reconnaître des corps étrangers métalliques de volume souvent très faible, mais aussi des objets de toute sorte dont la densité se rapprochât de celle des tissus de l'économie et dont l'origine fût, soit extérieure, soit intérieure; 2° on a cherché aussi à déterminer exactement la place qui était occupée par le corps étranger recherché dans l'intérieur du corps humain.

Le nombre total des procédés divers qui ont été publiés pour résoudre ce problème de la détermination exacte de la position occupée par les corps étrangers dans l'économie est très considérable (près de 100), et on ne peut songer à faire l'historique détaillé de chacun de ces procédés, car l'énumération seule en serait fastidieuse. D'ailleurs, beaucoup de procédés géométriques ont un assez grand nombre de points communs et souvent ne diffèrent entre eux que par des détails. Nous nous contenterons donc, pour éviter des longueurs inutiles, de signaler les principaux procédés avec les dates auxquelles ils ont été communiqués aux diverses Sociétés savantes.

A. — Méthodes stéréoscopiques

Radiographiques	Détermination approximative	Imbert et Bertin-Sans, *Presse médicale*, 18 juillet 1896.
		Marie et Ribaut, *Académie des sciences*, 22 mars 1897.
	Détermination exacte. Stéréométrie	Marie et Ribaut, *Académie des sciences*, 17 avril 1899.
		Marie et Ribaut, *Académie des sciences*, 1900.
Radioscopiques		Rouilliès. *Académie des sciences*, 16 janvier 1899.
		Guilloz. *Société de médecine de Nancy*, 24 mai 1899.

B. — Méthodes géométriques

1° Procédé Rémy et Contremoulins, présenté à l'Académie de Médecine le 30 mars 1897, sous le titre : *Nouveau Perfectionnement des applications chirurgicales des rayons X*;

2° Procédé de M. Leduc, publié dans le *Bulletin de la Société française d'électrothérapie*, août 1897, sous le titre : « Détermination rapide et précise de la position des corps vus dans les tissus à l'aide de la radioscopie » ;

3° Procédé radiographique et radioscopique de Mergier, présenté à l'Académie de Médecine le 1er mars 1898;

4° En Angleterre, Mackensie, Davidson et Hedley décrivirent, dans le *British medical Paper*, du 1er janvier 1898, un appareil pour la mesure exacte et la localisation des corps par les rayons de Röntgen ;

5° Le compas de M. Massiot fut présenté au Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences de Boulogne-sur-Mer, en septembre 1899 ;

6° Le procédé de M. Londe fut présenté à l'Académie des sciences le 27 mars 1899, sous le titre : *Un Nouvel Appareil destiné à l'orientation des radiographies et à la recherche des corps étrangers* ;

7° Procédé de M. Guilloz, pour la détermination de la position des corps étrangers dans l'organisme par la radiographie et la fluoroscopie, présenté à la Société de médecine de Nancy, le 24 mai 1899.

Nous arrêterons là cet historique, incomplet forcément, à cause du grand nombre des procédés présentés ; les quelques dates que nous avons citées, qui ne se rapportent qu'aux procédés les plus connus, suffisent certainement pour donner une idée de la rapidité avec laquelle se sont succédé depuis le 23 janvier 1896, date de la mémorable communication du professeur Röntgen, les présentations de méthodes pour localiser les corps étrangers.

PREMIÈRE SECTION. — ÉTUDE GÉNÉRALE DES MÉTHODES RADIOGRAPHIQUES, RADIOSCOPIQUES, STÉRÉOSCOPIQUES LES PLUS EMPLOYÉES.

Dans l'introduction nous avons montré qu'il ne suffisait pas de reconnaître la présence d'un corps étranger dans l'organisme, mais qu'il fallait encore exactement déterminer sa position.

Le problème de la détermination de la position d'un corps étranger revient à compléter, au moyen des déductions géométriques ou par des moyens physiques appropriés, les indications fournies par la projection conique représentée par l'image sur l'écran ou sur la plaque ; nous allons maintenant montrer quelles sont les considérations géométriques et quels sont les moyens physiques qui permettent de résoudre le problème ; nous serons ainsi conduits à exposer les diverses méthodes qui ont été imaginées. Nous étudierons successivement les méthodes géométriques et les méthodes stéréoscopiques.

§ 1. — **Méthodes géométriques.**

Il faut d'abord observer, avant de pousser plus loin cette étude, qu'il ne suffira pas de déterminer la position relative du corps étranger par rapport aux repères radiographiques : projection conique sur la plaque ou l'écran et point d'émission des rayons X ; en effet, ces déterminations, qui permettent au radiographe de connaître la position du corps étranger dans l'espace d'une manière absolue, pour ainsi dire, ne sont pas suffisantes pour le chirurgien.

Donc, lorsque, par une série d'opérations, le radiographe aura déterminé la position du corps étranger dans l'espace, il devra se préoccuper de chercher la position relative du corps par rapport à des repères que le chirurgien pourra facilement retrouver au moment de l'opération.

Aussi nous diviserons cette étude générale des méthodes les plus employées en deux paragraphes. Dans le paragraphe 1er nous étudierons les divers procédés qui permettent de déterminer la position du corps étranger, par rapport aux repères radiographiques ou radioscopiques. Dans le paragraphe 2, nous verrons quels sont les divers repères chirurgicaux que l'on peut choisir et quels sont les divers procédés employés pour passer du repérage radiographique au repérage chirurgical.

1° **Détermination de la position du corps étranger par rapport aux repères radiographiques.** — Considérons un corps opaque quelconque B, une balle par exemple. Soit O le point d'émission des rayons X.

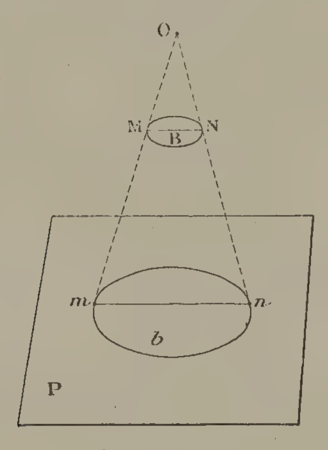


Figure 301.

L'image obtenue sur l'écran ou sur la plaque représentée par le plan P sera la courbe *b*, intersection avec le plan P du cône de sommet O et circonscrit à B. Inversement, voyons comment, connaissant la projection *b* et le point de vue O on pourra déterminer la position B. Deux groupes de méthodes permettent d'effectuer cette détermination : dans un *premier groupe* on détermine la distance de B au plan de projection en déduisant cette distance du rapport qui existe entre les dimensions connues de l'objet B et celles de son image *b* ; dans un *deuxième groupe* de méthodes, on détermine la position du corps B en se basant sur les indications fournies par deux projections coniques de B correspondant à deux positions différentes du point de vue. Nous allons étudier successivement ces deux groupes de méthodes, et cette étude va nous conduire tout naturellement à énumérer et à classer les divers procédés les plus employés.

Groupe I. — Supposons que l'on ait un corps identique à celui que l'on

cherche, ou supposons au moins que l'on connaisse les dimensions de ce corps.

Puisque nous connaissons la courbe b et le point O, nous pouvons d'abord déterminer le cône qui a pour directrice b et pour sommet O. Dans le cas où l'on connaît la longueur MN, comme on peut mesurer sur l'image la longueur mn, et comme l'on connaît la hauteur H de O au-dessus de P, on pourra avoir facilement la hauteur x de B au-dessus de P.

On a, en effet, $\frac{mn}{MN} = \frac{H}{H - x}$, d'où l'on tire $x = \frac{mn - MN}{mn} H$. Tel est le principe des procédés de MM. Stechow (1) et Fridenberg (2).

En un mot, ces deux procédés consistent à déduire la profondeur des dimensions de l'image et de celles de l'objet.

Groupe II. — Une autre manière de déterminer la position de B consistera à faire deux projections coniques de B en prenant deux positions différentes du point de vue O.

En effet, supposons pour simplifier que l'objet B soit réduit à un point (fig. 302) ; nous connaissons les deux positions O et O_1 du point de vue, ainsi

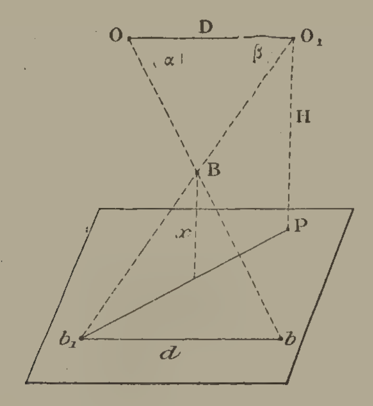


Figure 302.

que les projections b et b_1 sur le plan P. Avec ces données, on peut arriver à déterminer la position de B de plusieurs manières :

A. — Si le déplacement du tube a été fait parallèlement au plan P, c'est-à-dire si OO_1 est parallèle à bb_1, on déduit de la considération des triangles semblables la relation suivante :

$$\frac{b_1B}{b_1O_1} = \frac{d}{D + d} = \frac{x}{H},$$

où x représente la hauteur inconnue de B au-dessus de P, H, la hauteur du

(1) Stechow, Ueber die Verwendung der Rœntgenstrahlen bei der Armee im Frieden. *C. R. du Congrès de Moscou*, 19-26 août 1897.

(2) Localisation des corps étrangers de l'œil par les rayons X. *Arch. of the Röntgen rays*, mai 1898.

point d'émission des rayons X au-dessus de P; D, la distance des deux positions du point de vue ; d, la distance des deux images.

La seule quantité inconnue de cette équation est $x = H \frac{d}{D + d}$. On conçoit très bien qu'en cherchant de la même manière la distance de B à plusieurs plans, on puisse déterminer complètement la position de ce point dans l'espace.

Les procédés de MM. Frank Barrell (1), Buguet et Gascard (2), Turner (3), Sechehaye (4), Mergier (5) (radioscopie), Londe (6) s'appuient en partie sur ce principe.

B. — Au lieu d'avoir recours aux formules précédentes, on peut, connaissant toujours b et b_1, O et O_1, joindre par des fils ou par des tiges rigides b à O et b_1 à O_1, le point de rencontre des deux fils ou des deux tiges dans l'espace donnera la position qu'occupait B [procédés de MM. Rémy et Contremoulins (7), Mackensie et Hedley (8) et Mergier (9) (radiographie)].

C. — On peut aussi relever sur une feuille de papier les quatre points b et b_1, O et O_1, puis joindre bO et b_1O_1 par des droites qui se coupent en un point occupant la place de B. Procédés de M. Guilloz (10) et de M. Ch. Brandt (11).

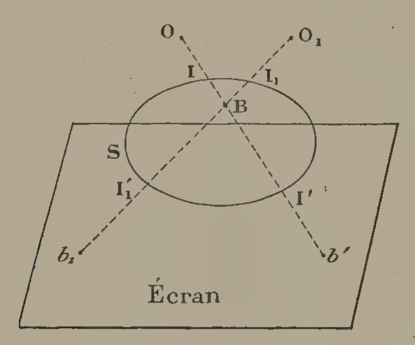


Figure 303.

D. — Considérons une section de la partie malade contenant le corps étranger B, et supposons que la courbe S limite cette section (fig. 303). Comme dans le cas précédent, nous ferons deux projections coniques de B

(1) Frank Barrell, A new method of localisation without plumb, lines or threads. *Arch. of the Röntgen rays*, mai 1900.
(2) Buguet et Gascard, Détermination par les rayons X de la profondeur où siègent les corps étrangers dans les tissus. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 30 mars 1896.
(3) Turner, *Medical chirurgical Society*, Edimbourg, 2 février 1898.
(4) Sechehaye, *Revue médicale de la Suisse romande*, 20 décembre 1898.
(5) Mergier, *Revue de polyclinique médicale et chirurgicale*, avril 1898.
(6) Londe, *Traité pratique de radiographie et de radioscopie*, Paris, 1898.
(7) Rémy et Contremoulins, *Bulletin de l'Acad. de méd.*, 30 mars 1897.
(8) Mackensie, Davidson et Hedley, *British med. Journal*, janvier 1898.
(9) Mergier, *loc. cit.*
(10) Guilloz, *Société de médecine de Nancy*, 24 mai 1899.
(11) Ch. Brandt, *la Radiographie*, 10 septembre 1899.

en faisant varier le point de vue; mais, de plus, à chacun des deux examens, qui sont ici radioscopiques forcément, nous placerons sur deux faces opposées de la partie malade deux indices métalliques I et I′ de telle façon que leur ombre se confonde sur l'écran avec celle du point B ; ces trois points I, I′ et B se trouvent ainsi sur une même ligne droite. Puis, les indices précédents étant collés avec du sparadrap, ou leur emplacement étant marqué à l'encre sur la peau, on change le tube de position et on répète la même opération avec les deux indices I_1 et I_1'.

On détermine ainsi deux diamètres II′ et $I_1 I_1'$ passant par le point B, qui est situé par suite à leur intersection.

Tel est le principe des procédés de MM. Lévy-Dorn (1), Leduc (2), Morize (3), Aranjo-Lima (4), Sehrwald (5). Le procédé de M. Ch. Brandt, que nous avons déjà cité plus haut, repose aussi en partie sur ce principe.

E. — Il est encore possible de remplacer les rayons (ob et o_1b_1) qui ont servi à donner les ombres b et b_1 sur une plaque sensible par des rayons donnant sur un écran fluorescent des images d'un point opaque qui occuperait dans l'espace la position qu'avait B dans la première projection conique.

Il suffira pour cela, l'écran ayant pris exactement la place de la plaque et les points d'émission des rayons X étant toujours O et O_1, de déplacer le point opaque jusqu'à ce qu'il ait pour images deux points situés à la même place que b et b_1 [procédé de M. Massiot (6)].

F. — On peut encore déterminer, au moyen d'un appareil spécial [le radiogoniomètre de Guilleminot (7)], les angles α et β du triangle OO_1B (fig. 302). La connaissance de la valeur de ces angles et de la longueur OO_1 permet de résoudre le triangle OO_1B, et, par suite, d'avoir la hauteur du corps étranger au-dessus du plan de projection.

2° **Détermination de la position du corps étranger par rapport aux repères chirurgicaux.** — Nous supposons que la position du corps étranger est bien déterminée dans l'espace par l'un des procédés énumérés plus haut; nous allons voir comment, au moyen des renseignements fournis par ces procédés radiographiques et radioscopiques, on peut passer à la détermination relative des corps par rapport à des repères que le chirurgien pourra retrouver au moment de l'opération. On sait que la position d'un point dans l'espace peut être définie de plusieurs manières ; nous en retiendrons trois :

(1) Lévy-Dorn, *Congr. de Chir.*, Berlin, 22 avril 1897.
(2) Leduc, *Gaz. médecine*, Nantes, 7 août 1897.
(3) Morize, *Gaz. hôp.*, 15 février 1898.
(4) Aranjo-Lima, *Rev. de Societade de medicina et chirurgica,* mars 1898.
(5) Sehrwald, *Deut. med. Woch.*, n° 19, mai 1898.
(6) Massiot, *Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences*, septembre 1899.
(7) Guilleminot, *Traité de radiographie et de radioscopie cliniques de précision*. Paris, 1900.

1° On peut se donner les distances de ce point à trois plans de coordonnées rectangulaires ;

2° On peut se donner la projection du point sur un plan et sa cote au-dessus de ce plan (1) ;

3° Enfin, on peut se donner les distances de ce point à trois autres points de l'espace, bien connus.

Tous les procédés pour déterminer la position des corps étrangers emploient l'une de ces trois manières ; nous allons les étudier successivement :

1° *Procédés qui emploient trois plans de coordonnées.* — Les trois plans de coordonnées rectangulaires sont déterminés par deux droites rectangulaires *d* et δ (fig. 30), tracées sur le plan de projection conique P et ayant la

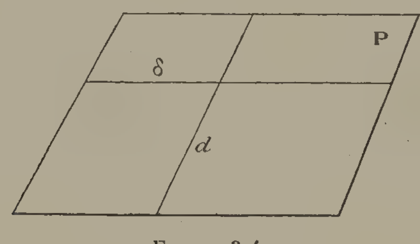


FIGURE 304

même position que celle qu'occupaient, pendant les opérations radiographiques ou radioscopiques, deux droites tracées sur la peau du malade.

Le premier plan de coordonnées est le plan P de projection, contenant les deux droites *d* et δ ; les deux autres plans passent chacun par l'une de ces deux droites, et sont perpendiculaires au premier. Ces trois plans forment ainsi un trièdre tri-rectangle.

Le point B étant supposé déterminé dans l'espace, on n'aura qu'à mener les coordonnées de ce point dans le système des trois plans définis plus haut.

Comme le chirurgien trouvera au moment de l'opération les deux droites *d* et δ tracées sur la peau du malade, il pourra imaginer le trièdre tri-rectangle de coordonnées ; il suffira donc que la radiographie donne les trois coordonnées de B pour que ce point soit bien déterminé. MM. Mergier, Mackensie et Hedley emploient cette méthode dans leurs procédés respectifs.

2° *Procédés qui emploient un seul plan de coordonnées.* — Le plan de coordonnées peut être déterminé par deux droites *d* et δ, tracées, comme dans le cas précédent, sur le plan de projection conique en même temps que sur la peau du malade (procédé de M. Sechehaye) ; ce plan de coordonnées peut être encore déterminé par une planchette fixée sur la région examinée (procédé de M. Charles Brandt). Enfin, le plan est simplement défini comme étant celui sur lequel repose la partie malade dans une position bien définie du malade (procédé de M. Guilleminot).

(1) Pour la bonne détermination de ce plan de projection, voir dans le chapitre suivant, p. 652, les excellentes recommandations de M. Guilloz.

Dans tous ces procédés, on projette orthogonalement le point B sur le plan unique de coordonnées, et on détermine sa cote au-dessus de ce plan. Ce sont donc ces deux indications qui sont fournies au chirurgien.

3° *Procédés qui emploient trois points de repère.* — Lorsque la position du corps étranger est déterminée dans l'espace, on détermine la position relative de ce corps par rapport à trois points de repère occupant les mêmes positions que celles qu'occupaient pendant les poses radiographiques trois points superficiels de la région malade.

Dans les procédés où on emploie ce système de repérage, on fait usage, en général, d'un compas à quatre branches, dont les extrémités de trois de ses branches s'appuient chacune sur l'un des trois points de repère, l'extrémité de la quatrième s'appuie sur le corps étranger (procédé de MM. Rémy et Contremoulins, de M. Massiot). Le compas ainsi réglé sera remis au chirurgien, qui sera guidé, pour l'extraction, par la quatrième branche du compas, les extrémités des trois premières branches étant placées sur les repères correspondants.

Dans les procédés de M. Lévy-Dorn et de M. Leduc, on peut aussi prendre pour points de repère les points marqués sur la peau par les indices métalliques ; on a vu que l'on peut mesurer la distance du corps étranger à ces quatre points de repère.

§ 2. — **Méthodes stéréoscopiques.**

Les méthodes de radioscopie et de radiographie stéréoscopiques ont été déjà décrites en détail dans cet ouvrage. Ce serait donc faire double emploi en revenant ici sur les principes généraux sur lesquels elles reposent.

D'ailleurs, il faut bien remarquer que ce sont des méthodes utilisables pour toutes les applications des rayons X, et la recherche des corps étrangers n'est qu'un cas très particulier de leur emploi. Ce n'est même pas celui dans lequel elles peuvent rendre le plus de services. Leur principal avantage résulte de ce qu'on a devant les yeux une représentation virtuelle de l'objet réel dans laquelle tout ce que la radiographie peut déceler est visible (corps étrangers et organes normaux). Pour la radiographie stéréoscopique en particulier, on peut toujours, en suivant la méthode de MM. Marie et Ribaut, obtenir une reconstitution virtuelle qui est exactement semblable comme forme et rapports de dimension à l'objet réel qui a été radiographié. On peut ainsi apprécier avec exactitude les distances qui séparent les diverses parties de l'objet et en particulier les distances qui séparent un corps étranger quelconque contenu dans l'intérieur de divers points de repère qui peuvent être des parties osseuses de position parfaitement connue ou bien des objets métalliques situés à la surface. Lorsque ces distances deviennent un peu grandes cette appréciation visuelle peut devenir insuffisante : Il faut alors se servir de la stéréométrie de MM. Marie et Ribaut. Cette méthode stéréométrique est en réalité une méthode géométrique, dans laquelle le stéréoscope sert

simplement d'intermédiaire pour bien établir la coïncidence entre les fils de l'appareil et les divers points de l'objet dont on veut connaître la position dans l'espace. Elle ne le cède pas en précision aux méthodes géométriques, et elle a sur elles l'avantage d'être plus générale, c'est-à-dire applicable non seulement aux corps étrangers de forme plus ou moins régulière, mais aussi aux diverses parties d'un objet de forme quelconque.

Nous indiquerons succinctement dans le prochain chapitre comment on doit employer la radioscopie et la radiographie stéréoscopiques pour la recherche des corps étrangers.

DEUXIÈME SECTION. — DESCRIPTION DE QUELQUES MÉTHODES

Nous avons montré précédemment sur quels principes généraux reposent les diverses méthodes employées pour la recherche des corps étrangers et la détermination de leur position à l'intérieur de la partie examinée. Cette étude était nécessaire à cause de la diversité des procédés qui ont été proposés et de l'impossibilité de les décrire tous, même succinctement. D'ailleurs, les radiographes possèdent des ressources en matériel qui sont nécessairement très variables et qui les obligent à choisir les méthodes en rapport avec ce matériel. Les considérations théoriques du chapitre précédent leur permettront même de créer extemporanément un matériel pour les interventions d'urgence. Il est important de remarquer que, bien souvent, il est inutile d'employer les méthodes de grande précision. Celles-ci ne sont nécessaires que pour les recherches de corps étrangers dans l'intérieur du crâne ou du tronc. Pour les membres, des procédés élémentaires pourront parfaitement suffire dans la plupart des cas. Ainsi, *premièrement*, on suppléera à l'insuffisance d'une seule radiographie en prenant deux épreuves de l'objet suivant des plans différents perpendiculaires entre eux. On s'efforcera de placer le point d'émission des rayons X et le corps étranger sur une même perpendiculaire à la plaque dans chacune des deux positions. L'on obtiendra ainsi la projection orthogonale du corps sur un plan horizontal et sur un plan vertical. On mesure la distance qui sépare cette projection du bord correspondant de chaque figure obtenue, la réunion de ces deux bords représentant la ligne de terre des deux plans de projection envisagés. Les dimensions obtenues permettront de définir la position du corps dans l'espace en élevant, aux points de la région correspondant aux points de projection sur les plans, deux perpendiculaires de longueur égale à celle mesurée sur ces deux plans (1).

Deuxièmement, on peut encore, et plus simplement, par la radioscopie, obtenir des renseignements précieux. Ainsi, en considérant la projection

(1) Un autre procédé très simple, et qui ne demande aucun appareil spécial, consiste à faire, avec la même plaque, deux poses successives en déplaçant le tube dans l'intervalle des deux poses parallèlement à la plaque ; la région malade demeurant toujours immobile. En mesurant le déplacement donné au tube D, la distance sur le

conique fournie par un corps opaque sur un plan, on se rend compte que les dimensions de l'ombre sont proportionnelles à celles du corps, et qu'elles sont susceptibles de varier suivant la distance de l'objet à la plaque et suivant la distance du point d'émission des rayons X à l'objet. Si on fait varier ce dernier facteur en rapprochant le tube de la plaque, l'ombre apparaîtra d'autant plus grande que le corps étranger est plus près de la source, et s'accroîtra très peu lorsque l'objet est proche de l'écran. On aura donc une première indication pour savoir si le corps est superficiel ou profond. Si on connaît, par exemple, le calibre d'une aiguille brisée et restée dans les tissus, on peut apprécier, par les dimensions de l'ombre, sa plus ou moins grande profondeur.

On peut préciser davantage, en se basant sur la méthode dite parallactique. On fixe sur l'écran un point de repère métallique ; si l'on déplace latéralement le tube devant le sujet, ce point en contact avec l'écran donne une ombre fixe, tandis que l'ombre d'un corps situé en avant de l'écran se déplacera. Ce déplacement dépend du déplacement du tube ; mais il sera d'autant plus grand que le corps étranger sera plus loin de l'écran. On pourra porter sur l'écran une graduation pour mesurer ce déplacement.

On peut, du reste, déplacer le corps au lieu de déplacer le tube. C'est ainsi que pour le bras, par exemple, on pourra se rendre compte si le corps étranger siège plus près de la face antérieure ou de la face postérieure.

Les examens radioscopiques se faisant très rapidement, on peut les répéter en changeant la position de l'objet. Si, pour chacune de ces positions, on marque sur la peau les points qui correspondent aux extrémités de la radiation qui passe par le corps étranger, le chirurgien pourra être suffisamment renseigné.

Pour les cas difficiles et surtout lorsqu'il s'agit du thorax ou du crâne, il faudra s'adresser à une méthode plus précise. Actuellement, les radiographes n'ont que l'embarras du choix. Nous allons décrire quelques-unes de ces méthodes. Les plus importantes sont exposées intégralement d'après les publications des auteurs. Pour les autres, nous nous contenterons d'un résumé, afin de ne pas allonger indéfiniment ce chapitre. Cette description sera faite dans l'ordre suivant :

I. Méthodes radiographiques . .	1° Procédé de MM. :	Rémy et Contremoulins.
	2° —	Mackensie, Davidson et Hedley.
	3° —	Guilloz.
	4° —	Mergier.
II. Méthodes radioscopiques. . .	1° Procédé de MM. :	Mergier.
	2° —	Londe.
	3° —	Leduc.
	4° —	Guilleminot.

cliché des deux images du corps étranger d et la hauteur de l'anode au-dessus de la plaque H, on aura par la formule $x = \frac{d}{D + d}$ H, la hauteur x du corps étranger au-dessus de la plaque. Cette valeur de la hauteur, jointe aux autres indications données par le cliché et par l'examen clinique, suffira quelquefois.

III. Méthode successivement radiographique et radioscopique.		Procédé de M. Massiot.
IV. Méthodes stéréoscopiques	1° Radioscopique .	1° Procédé de MM. : Rouilliès et Lacroix.
		2° — Guilloz.
	2° Radiographique	Procédé de MM. Marie et Ribaut.

§ 1. — Procédé de MM. Rémy et Contremoulins.

Un bâti portant, d'un côté, un châssis photographique spécial et, de l'autre, deux tubes Crookes (tube Chabaud, modèle 1897), orientable à volonté, est scellé sur le crâne à l'aide d'un appareil plâtré (ce dispositif donne l'immobilité absolue de la tête par rapport à l'appareil, tout en permettant les mouvements du corps du sujet). A l'avant de ce bâti, un *compas-repère* sert à prendre trois points de contact sur la face du blessé avec de petits disques (1) métalliques comprimant les téguments sur les surfaces osseuses les plus cutanées (points frontaux et sous-orbitaires).

L'appareil étant ainsi disposé, on place dans le châssis une plaque photographique de façon qu'elle vienne buter par les bords contre les pièces métalliques percées d'œilletons qui serviront plus tard, comme on le verra, de points de repérage. Un premier cliché est obtenu en actionnant l'un des tubes de Crookes. La plaque impressionnée est alors remplacée par une seconde plaque sensible, destinée à recevoir l'image projetée par le deuxième tube de Crookes. Ces deux clichés faits, on démonte le compas-repère, sans le dérégler, et l'on détache le bâti de l'appareil des pièces qui font corps avec le scellement.

Les trois points de repère de la face doivent être immédiatement tatoués à l'encre de Chine sur l'épiderme du blessé, de façon à former une trace indélébile pour le repérage du *compas d'opération*, dont il sera bientôt question, jusqu'au moment de l'extraction du projectile.

On possède ainsi l'image du projectile projeté de deux points différents sur le même plan, et, au moyen du *compas-repère*, la trace de l'emplacement exact qu'occupait le crâne dans l'appareil. Mais avant de rechercher l'emplacement du projectile dans l'espace, avec ces images et ce compas, il reste à déterminer le point exact d'émission des rayons X. On les retrouve par les opérations suivantes :

Entre le châssis et les tubes, on glisse sur le bâti une plaque de cuivre rigide (*plaque-contrôle*), percée vers le milieu de quatre trous espacés de 4 millimètres. Avec l'un des tubes d'abord, puis avec l'autre tube de Crookes, on radiographie deux fois cette *plaque-contrôle* sur une même plaque sensible, de façon que deux fois le groupe de quatre trous de cette plaque forme des images nettes sur la plaque photographique. En raison de l'épaisseur de la plaque de contrôle, la pose, dans ces deux radiographies succes-

(1) Appareils destinés à déterminer d'une manière précise au moyen des rayons X la position des projectiles dans le crâne. *Académie de médecine*, 30 mars 1897.

sives, doit être assez prolongée pour que les pièces métalliques, percées d'œilletons, du châssis soient silhouettées sur la plaque photographique en vue du repérage de l'image de la *plaque-contrôle* avec les images des deux premiers clichés.

Les trois clichés ainsi obtenus ayant été rapidement séchés à l'alcool (après développement), on écorche la gélatine sur les deux premiers au centre de l'image du projectile à retrouver. Le même écorchage de la gélatine étant pratiqué sur la radiographie de la plaque-contrôle au centre des pénombres des huit trous, formés par les deux opérations successives avec l'un, puis avec l'autre tube de Crookes.

On tire alors une épreuve de chaque cliché sur du papier au citrate, de telle sorte que les œilletons de repère du châssis marqués sur chaque cliché soient nettement visibles, ainsi que les centres du projectile et les centres des pénombres de la *plaque-contrôle*.

Ces opérations donnent, en définitive, trois épreuves qui portent quatre images distinctes, et ces trois épreuves sont exactement repérables entre elles, grâce aux traces des œilletons qu'elles portent. Il est facile de les reporter sur une plaque de zinc spéciale que l'on perce de trous correspondant aux œilletons du châssis photographique. Cette plaque est faite pour être vissée sur ces œilletons au moyen de ces trous. A l'aide des images des œilletons reproduites sur les épreuves, celles-ci ayant été très exactement repérées avec les trous de la plaque de zinc, on pointe avec un pointeau, à travers les épreuves, les centres des pénombres et ceux du projectile sur la plaque de zinc (tous ces coups de pointeau sont numérotés sur la plaque de zinc pour être aisément discernables les uns des autres). La plaque de zinc est ensuite perforée à la place de chaque coup de pointeau, d'un très petit trou conique, avec une fraise, de telle sorte qu'il soit possible de faire passer par ces trous des fils qu'on arrêtera derrière la plaque au moyen de nœuds, puis elle est vissée aux œilletons du châssis photographique.

Ces opérations préalables étant faites, pour déterminer exactement le point d'émission des rayons X de chaque tube, on commence par substituer à l'un de ceux-ci une pièce qui porte un œilleton dont on place l'ouverture à l'emplacement probable du foyer du tube enlevé. Avec des fils, on relie cet œilleton à la projection des trous de la *plaque-contrôle*, sur la plaque de zinc où cette projection a été reportée, comme nous l'avons exposé déjà, en faisant passer ces fils par les trous correspondants de la *plaque-contrôle*. Si le foyer théorique correspond bien au foyer exact d'émission des rayons X, les quatre fils passent rigoureusement par le centre des quatre trous de la *plaque-contrôle*. S'il y a, au contraire, une légère différence, qui peut tenir à nombre de causes diverses, il suffit de déplacer l'œilleton et de chercher par tâtonnement le véritable emplacement qu'il doit occuper jusqu'à ce que les fils passent rigoureusement par le centre des trous de la *plaque-contrôle*. Le nouvel emplacement de l'œilleton trouvé ainsi est celui du point exact d'émission des rayons X.

La même opération se répète pour le second tube; quand elle est faite, on peut supprimer les fils et enlever la *plaque-contrôle* désormais inutile.

Il ne reste plus qu'à tendre de nouveaux fils allant de la projection du projectile à l'œilleton représentant le foyer radiographique du tube qui l'a produite. Ces fils s'entre-croisent et leur intersection représente le centre du projectile dans l'espace.

On remet ensuite à la place qu'il occupait le *compas-repère* donnant les trois points de repère de la face et l'on a ainsi l'emplacement du projectile par rapport à trois points déterminés à l'extérieur du crâne.

A la colonne supportant ce *compas-repère*, on ajoute enfin une quatrième branche articulée portant à son extrémité une aiguille avec laquelle on relève, par réglage, la position du centre du projectile par rapport aux points de repère du compas.

Ainsi le *compas-repère* présente, comme l'*épreuve négative*, l'image en *creux* du crâne et l'emplacement de la balle sur ce creux; on règle un second compas, dit *compas-schéma*, plus robuste, plus rigide, fait en vue des transports, et qui représente au contraire le *relief* ou le *positif* du crâne avec l'emplacement du projectile par rapport à ce relief. Enfin, ce compas-schéma, transporté au lieu où doit se produire l'intervention chirurgicale, sert à régler un dernier compas construit en vue de la stérilisation et nommé compas d'opération.

Sur ce dernier compas, la quatrième branche guide le chirurgien sur le centre même du projectile.

La méthode de MM. Rémy et Contremoulins est d'une grande exactitude. Tout le monde se plaît à le reconnaître. Elle a été contrôlée de deux manières différentes : d'une part, par de nombreuses déterminations faites sur le cadavre qui ont démontré sa précision, et, d'autre part, par de nombreuses applications faites sur le vivant qui, toutes, ont été couronnées de succès.

Le seul reproche sérieux que l'on puisse lui adresser, c'est d'être compliquée et d'exiger un matériel fort coûteux, que les installations radiographiques luxueuses peuvent seules posséder. D'ailleurs, cette grande exactitude n'est réellement indispensable que pour les régions du corps où le moindre délabrement des tissus peut avoir des conséquences graves, par exemple, certaines parties de la tête.

Les auteurs se sont efforcés de remédier à cet inconvénient de la complexité et de la cherté du matériel de recherche des corps étrangers, tout en conservant la même exactitude.

Nous allons décrire quelques-uns de ces procédés.

§ 2. — **Procédé de MM. James Mackenzie, Davidson et Hedley** (1).

Cet appareil se compose d'une barre horizontale graduée en millimètres avec le zéro au milieu, supportée par deux tiges verticales fixées sur une table. La barre horizontale porte le tube producteur des rayons X, dont les déplacements sont limités par deux curseurs qu'on peut fixer en différents points. Cette disposition permet de prendre deux radiographies de deux points de vue différents, de déterminer exactement la distance des points de vue et la hauteur au-dessus de la plaque photographique du tube producteur des rayons X.

Pour faire l'opération, on place sur la table, entre les lignes verticales, une plaque photographique, enveloppée comme d'habitude et au-dessus une lame de vulcanite plus grande que la plaque et portant deux fils disposés en croix. L'un de ces fils est placé parallèlement à la lame horizontale, et le plan de croisement doit se trouver sur la verticale du zéro de la graduation.

Au-dessus, on dispose l'objet à radiographier. On fait alors deux poses en déplaçant le tube le long de la barre horizontale dans l'intervalle des deux opérations. En développant le négatif, on trouve deux ombres de chaque corps étranger. Une construction géométrique à l'échelle permet de connaître exactement la position du corps étranger. L'auteur préfère se servir d'un appareil qu'il appelle le localiseur et qui ressemble dans ses grandes lignes à celui qui a été décrit précédemment. Il en diffère surtout par ce fait que la marche des rayons X est représentée par deux fils de couleur différente qui vont séparément des deux positions occupées successivement par l'anode à l'ombre correspondante. Le point de rencontre de ces deux lignes donne la position du corps étranger.

§ 3. — **Procédés de M. T. Guilloz** (2).

1° Méthode radiographique

Cette méthode consiste à obtenir sur la même plaque photographique, le sujet étant immobile, deux projections coniques de la balle et des points de repère que l'on transforme en une projection orthogonale. On peut alors repérer la balle par ses distances aux points de repère pris sur la surface : on n'a plus besoin ainsi de tenir compte de la position du sujet par rapport au plan de projection. Il est préférable, dans certains cas, quand le plan de

(1) Appareil pour la mesure exacte et la localisation des corps étrangers par les rayons de Röntgen, *British med. Journ.*, 1er janvier 1898.

(2) Procédé pour la détermination de la position des corps étrangers dans l'organisme par la radiographie et la fluoroscopie. Procès-verbaux des séances de la *Société de médecine de Nancy*, 1899, pp. 68-74.

projection a pu être déterminé exactement à la surface du patient, de se servir encore de la position de ce plan pour donner les indications relatives à la recherche du corps étranger.

Bonne détermination d'un plan de projection. — Il y a des régions du corps, dos, poitrine, face, tempe, qui peuvent être considérées comme des surfaces réglées. On peut le voir en remarquant que, sur une assez grande longueur, une règle droite appliquée sur ces régions en épouse la surface. La radiographie fournit encore cette démonstration en montrant qu'un fil de plomb collé sur ces régions à la surface de la peau ne donne sur la plaque photographique qu'une image simple, bien qu'il y ait deux sources lumineuses. Ainsi, dans ces régions, la position d'un plan est définie par ce fait qu'il contiendra une droite tracée sur la surface. La position de ce plan sera non seulement théoriquement, mais pratiquement bien définie dans les régions indiquées à cause du peu de courbure de la surface. Si l'on donnait une inclinaison, même faible, au plan tangent, on déplacerait de beaucoup la ligne suivant laquelle il touche la surface.

Bref, dans ces régions, quand on a tracé une droite à la surface du corps, on peut, avec la plus grande précision, définir la position d'un plan par sa tangence suivant cette droite et chaque fois qu'expérimentalement on remettra un plan tangent suivant la droite, il reprendra bien exactement la même position, une position un peu oblique, se traduisant par une tangence en une région éloignée de la ligne qui a été tracée. Dès lors, ce plan à position, qu'il est si facile en pratique de refaire exactement, sera un excellent plan de projection dans la détermination.

Dans les régions convexes, la position d'un plan de projection ne peut pas être pratiquement définie d'une façon exacte par sa tangence à la surface, car, quand on voudra replacer le plan dans la même situation, une légère erreur dans l'application du plan sur le point déterminé de la surface donnerait une position d'autant plus oblique, par rapport à la première, que la surface serait plus courbe, et la position d'un plan déterminé ne doit pas être considérée comme assez fixe pour qu'il puisse être employé comme plan de projection.

On choisira donc pour repérer le plan une région aussi plane que possible, à la surface de laquelle on collera un fil de plomb sur lequel on placera perpendiculairement un autre repère faisant corps avec lui.

Préparation de la plaque.— La plaque est enveloppée de plusieurs couches de papier noir. A sa surface, on pose un fil métallique fin, qui, tordu avec force en dessous, se tend sous forme d'une ligne droite xy.

Préparation des tubes. — On emploie deux tubes qui sont montés de telle sorte que la ligne qui joint les anticathodes SS′ (fig. 305) soit exactement horizontale, et on détermine cette distance une fois pour toutes. La projection de la ligne joignant les anticathodes sur un plan horizontal donne une ligne de projection avec la direction de laquelle on fait coïncider le fil métallique tendu sur la plaque disposée horizontalement.

Il faut alors déterminer sur xy la projection des centres d'émission. Pour cela, on emploie un double fil de plomb que l'on place à cheval sur le tube, de telle sorte que le plan vertical des deux fils coupe l'anticathode. Les points de rencontre des deux extrémités des fils à plomb avec la plaque déterminent une droite coupant la ligne xy en un point qui est la projection de l'anticathode. On marque ce point par un fil de plomb fixé au premier fil xy. La même opération répétée pour chaque tube déterminera donc sur la ligne xy les points s et s', projections des centres d'émission des rayons X, S et S'.

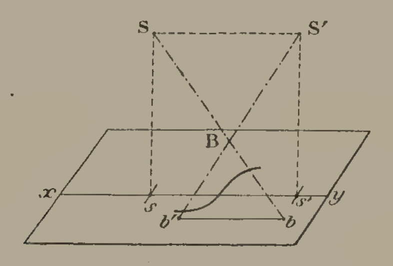


Figure 305.

Il est arrivé à l'auteur, dans ses premières recherches, de n'employer qu'un tube. Il était alors monté sur le chariot d'un tour et pouvait être ainsi amené dans une autre position connue. On faisait deux poses successives sans déplacer le sujet ni la plaque.

Opération. — On colle sur le sujet un fil de plomb avec un repère sur sa longueur en ayant bien soin de le disposer sur une région plane. Si l'on ne dispose pas d'une région permettant la fixation d'un bon plan de projection pour les opérations ultérieures, il suffit de prendre les deux projections bi-coniques sur un plan fixe qui servira seulement passagèrement pour la détermination de la distance du projectile à différents points de repère tracés sur la surface.

On fait coucher le sujet sur la plaque horizontale de façon que le fil fixé sur le plan choisi soit absolument en contact avec la plaque.

On actionne les deux tubes pendant le temps nécessaire à la pose, puis on développe la plaque.

On a ainsi une épreuve double sur une même plaque.

Elle donne les contrôles graphiques suivants :

1° Si la tangence du plan suivant la ligne tracée à la surface du corps du sujet est exacte, on n'a qu'une projection de cette ligne sur le cliché photographique ;

2° Les lignes joignant les centres des doubles images sont parallèles à xy si, la plaque étant bien horizontale, la ligne joignant les centres d'émission des rayons X a bien la ligne xy pour projection ;

3° Le relevé des projections des anticathodes sur le cliché donnera une distance égale à leur distance réelle ;

4° Enfin, nous verrons tout à l'heure une autre vérification consistant dans la détermination, d'après ce cliché, de la distance des points de repère entre eux, distance directement mensurable. On calquera le cliché et. comme l'indique la construction ci-dessous (fig. 306), on transformera la projection biconique en une projection orthogonale, en effectuant un rabattement du plan SS'*bb'* autour de la droite *bb'*. On obtiendra ainsi en B le rabattement de la balle ; relevant le plan, on aura en β et en β' les projections horizontale et verticale de la balle. On procédera de la même façon pour les différents points de repère.

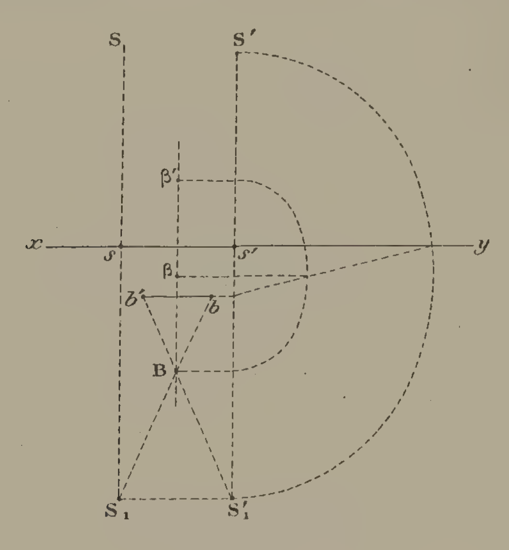


FIGURE 306.

Sur un papier parchemin tendu sur un cadre, on relèvera le calque de la ligne xy, du repère tracé sur le corps du sujet et des différentes projections horizontales des corps étrangers et des points de repère. On construira ainsi, somme toute, une carte topographique où à côté de chaque point indiqué figurera une côte.

On appliquera alors ce plan de telle sorte qu'il soit tangent suivant le repère tracé sur la peau du sujet, et ainsi figureront relativement à ce plan les projections des points intéressants.

Au moyen d'une tige graduée mobile dans une glissière perpendiculaire à un petit plan que l'on tiendra appliquée sur le calque, on pourra indiquer sur la peau la trace de ces projections verticales sur le plan et la profondeur à laquelle se trouvera le corps étranger dans cette direction perpendiculaire au plan.

On peut alors enlever ce plan. Il est facile auparavant de conserver la trace de la direction dans laquelle doit être cherché le projectile en collant en dehors du champ opératoire une tige ayant cette direction. Enfin, si on préfère, on peut se contenter des distances à des points de repère fixes pris

sur des rebords osseux. Si a et a' sont les cotes de la balle et d'un point fixe, si d est la distance comptée sur la projection orthogonale, la distance D de la balle au point fixe sera :

$$D = \sqrt{d^2 + (a - a')^2}.$$

2° Méthode fluoroscopique

On actionne deux tubes ayant leurs centres d'émission des rayons X sur une ligne horizontale, au moyen de deux bobines et d'un double trembleur dérivé du trembleur proposé à la Société de médecine de Nancy (séance du 23 novembre 1898) et à la Société française de physique (séance du 16 décembre 1898).

L'écran porte, sur la face opposée à celle où est déposé le platino-cyanure de baryum, une graduation métallique découpée dans une bande de laiton, et collée à la surface ou, mieux encore, une graduation sur verre, nettement visible, fixée du côté fluorescent.

L'écran est fixé de telle sorte que le plan horizontal passant par la ligne joignant les anticathodes contienne la graduation.

L'installation peut être simplement faite de cette façon; on est alors obligé, dans la détermination, de déplacer le malade, que l'on place sur une table mobile de photographe. Il est préférable de ne pas déplacer le malade en rendant alors le déplacement du tube solidaire de celui de l'écran. Malgré la distance qui sépare les tubes de l'écran (50 centimètres à 1 mètre), on arrive, par un dispositif de tiges articulées et de glissières qu'il ne convient pas de décrire longuement ici, à rendre solidaires l'un par rapport à l'autre les tubes et l'écran.

Le malade est placé entre les tubes et l'écran, et, dans les dernières dispositions d'observation, on déplace verticalement le système de façon à obtenir une double image du corps étranger sur la graduation.

La balle, par exemple, se trouve alors dans le plan passant par la ligne graduée et la ligne joignant les anticathodes.

Pour déterminer ce plan à la surface du sujet, il suffit de déplacer une tige métallique étroite sur le corps du sujet, en obtenant son image en coïncidence avec la graduation de l'écran. On obtient ainsi, sur la surface du sujet, autant de repères que l'on voudra de ce plan de section qui contient la balle.

L'appareil sera alors oblique, et on déterminera semblablement à la surface du sujet une autre section plane contenant la balle. Celle-ci se trouvera à l'intersection des plans, c'est-à-dire sur la ligne droite joignant les deux intersections des courbes ainsi tracées à la surface. On collera alors deux petits repères métalliques, de forme différente, en ces points : A et C (fig. 307).

Pour vérifier que la balle se trouve bien sur la ligne tracée, il suffit de

voir si, pour une autre position des tubes ou du sujet, on peut amener les doubles images des repères et de la balle à se former simultanément sur l'échelle graduée.

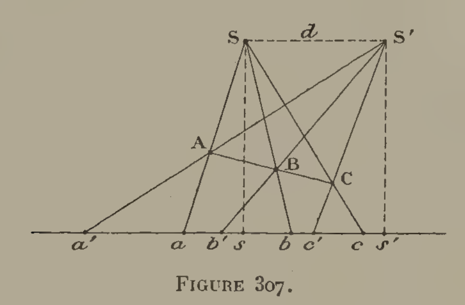


FIGURE 307.

On notera les positions des doubles images a, a', b, b', c, c', sur l'échelle divisée. Un calcul simple montre que si d est la distance SS' :

$$\frac{AB}{AC} = \frac{d + cc'}{d + bb'}, \frac{aa' - bb'}{aa' - cc'};$$

$$\frac{BC}{AC} = \frac{d + aa'}{d + bb'}, \frac{bb' - cc'}{aa' - cc'};$$

$$\frac{BC}{AB} = \frac{d + aa'}{d + cc'}, \frac{bb' - cc'}{aa' - bb'}.$$

Cette méthode est aussi susceptible d'une vérification portant sur la détermination de la position de la balle sur la ligne AC. Il est alors *nécessaire et il suffit* de noter, une fois pour toutes, les projections S et S' des centres d'émission des rayons sur la plaque, pour calculer les longueurs AB, BD, AC, dont l'une, AC, susceptible d'un contrôle direct, servira de vérification à la détermination. Ces projections s'obtiennent en déplaçant de l'autre côté de l'écran, et suivant la graduation, une petite règle portant une tige métallique assez épaisse et creuse, qui lui est perpendiculaire, et cela jusqu'à ce qu'on observe, lumineuse sur l'écran, la section de ce petit tube creux. Ce procédé rappelle celui que MM. Imbert et Bertin-Sans ont donné à l'origine pour déterminer le centre d'émission des rayons X.

M. Guilloz a établi les formules qui peuvent être appliquées dans ce cas général, mais elles sont un peu compliquées. On peut, dans la vérification, procéder plus simplement en mettant en coïncidence avec la projection sur l'écran de l'un des centres d'émission des rayons X, un des repères extérieurs, par exemple, c et S'. Ce résultat sera atteint quand les projections c et c' se confondent en une seule projection en s.

Dans ces conditions, si h est la distance des anticathodes à l'écran :

$$AC = \frac{\sqrt{h^2 \, \overline{a\,a'}^2 + \overline{s\,a'}^2 \, d^2}}{d + a\,a'};$$

$$BC = \frac{\sqrt{h^2 \, \overline{a\,a'}^2 + \overline{s'\,b'}^2 \, d^2}}{d + b\,b'}.$$

On contrôlera si la longueur AC ainsi calculée correspond bien à la longueur obtenue par une mensuration directe faite sur le sujet au moyen d'un compas.

Ainsi se trouvera vérifiée l'exactitude de BC, car il n'y a pas plus d'erreur à commettre dans cette détermination que dans celle de AC.

§ 4. — Procédés du docteur Mergier (1).

1° Méthode radiographique

Le dispositif destiné à donner les deux projections coniques est plus simple que celui de MM. Remy et Contremoulins. Une boîte plate est destinée à recevoir successivement les deux plaques photographiques ; sur le milieu de la plaque supérieure, deux fils métalliques sont croisés à angle droit; ils porteront ombre sur la plaque, et ils imprimeront, à la surface de la région du sujet qui reposera sur eux, une trace que l'on aura soin de fixer. Ils placent les deux tubes sur une ligne parallèle à l'un des fils croisés sur les plaques ; et l'on mesure les distances qui séparent les deux anticathodes ainsi que la distance des tubes à la plaque. Enfin, on détermine, sur la face supérieure de la région du sujet, les points où viennent aboutir les deux verticales abaissées des anticathodes. On fait agir les tubes successivement, en changeant les plaques, le sujet devant rester immobile.

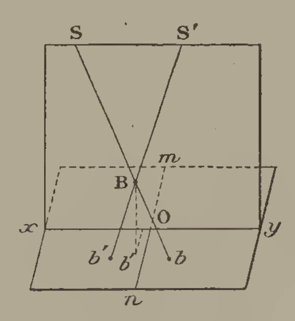


Figure 308.

Les deux projections obtenues du corps étranger, ainsi que les fils croisés sont reportés sur une même feuille, qui permet de déterminer la position du corps étranger avec le compas entométrique de l'auteur. Ce sont deux tiges rigides qui peuvent s'allonger à volonté en glissant l'une dans l'autre et qui seront fixées par leurs extrémités en deux points situés exactement, quant à la position et quant aux distances, comme l'étaient les deux anticathodes elles-mêmes, par rapport aux deux fils croisés ; c'est-à-dire que

(1) *Revue de la Polytechnique médicale illustrée*, 1898, p. 111.

SS′ sera parallèle à xy, égale à l'écartement des tubes, et également distante de la plaque que l'étaient les tubes. Il suffit alors de joindre les extrémités des branches du compas en b et b' pour avoir à leur intersection la position du corps étranger.

Si du point B on abaisse une perpendiculaire sur le plan de projection, on voit de suite que le point B se trouve déterminé par rapport à trois points de projection, dont deux, l'un horizontal et l'autre vertical, passent chacun par les droites xy et mn tracées sur la peau du malade. Le troisième plan perpendiculaire aux deux premiers, avec les lignes xy et mn comme intersections, est le plan de la plaque sensible au moment des radiographies. La projection du corps sur lui donne la distance en profondeur.

Ce procédé a été utilisé avec succès par Péan pour deux blessés qui avaient tenté de se suicider en se tirant un coup de revolver dans la tête. Chez l'un, le projectile s'était logé dans le rocher, sous la dure-mère, à une profondeur de 6 centimètres, et, chez l'autre, au niveau de la selle turcique, à une profondeur de 7 centimètres. Chez l'un et l'autre, des explorations avaient été pratiquées pour retrouver la balle aussitôt après la tentative de suicide, mais elles n'avaient eu aucun résultat. Les malades furent pris bientôt après d'accidents douloureux et graves, paralysie faciale, suppuration du conduit auditif, qui les déterminèrent à demander l'ablation des projectiles qu'ils portaient ; grâce aux indications fournies par le procédé de M. Mergier, les recherches furent possibles, faciles même.

A ces deux exemples, Péan conclut que si le procédé de M. Contremoulins est parfait comme exactitude, celui de M. Mergier peut rendre les plus grands services, car il présente une exactitude suffisante, il est d'une application simple et facile, il ne nécessite qu'un dispositif très peu coûteux. « Grâce à la radiographie, ajoute M. Péan, la chirurgie cranio-cérébrale a fait de tels progrès qu'elle s'est pour ainsi dire transformée. L'accès de cet organe si peu maniable, si fragile, qu'est le cerveau, il y a peu de temps encore si redouté, devient maintenant possible, je dirai même obligatoire, tant la nouvelle découverte a apporté de précision et de sûreté dans les diagnostics. »

2° Méthode radioscopique

Le dispositif rappelle beaucoup le procédé radiographique. Deux tubes sont placés à une distance connue, et peuvent être placés au-dessus de l'écran, à une hauteur mesurable. L'écran porte également deux fils croisés, dont le point de croisement est placé au pied de la perpendiculaire abaissée du point d'émission de l'un des tubes ; l'un des fils est en outre parallèle à la ligne qui joint les deux anticathodes. On actionne le premier tube, et on déplace l'objet de façon que l'image du projectile vienne tomber au point O. Le corps étranger se trouve alors sur la perpendiculaire qui va du foyer du tube au point O ; on connaît ainsi la direction dans laquelle il se trouve. Pour con-

naître la profondeur, on actionne le second tube, l'image se déplace, et l'on mesure la valeur du déplacement à l'aide d'un index.

On détermine ainsi deux triangles rectangles semblables, dont on con-

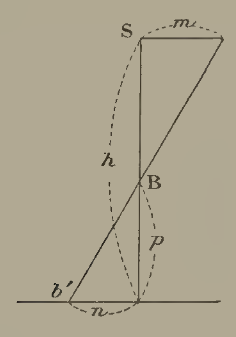


FIGURE 309.

naît les deux bases m et n, et la hauteur totale de l'une et de l'autre. Il est possible de calculer la hauteur p qui donne la formule :

$$p = \frac{h}{\frac{m}{n} + 1}.$$

On peut de même connaître cette distance par une mesure directe sur un petit appareil portant deux graduations suivant n et p. S'b' est un fil que l'on place à la graduation voulue sur n, figurant le second point de projection, et il suffira de lire la profondeur du corps au point de croisement avec la graduation de p.

§ 5. — **Procédé de M. Londe.**

Il présente assez d'analogie avec celui de M. Mergier.

L'auteur part de cette observation : l'image d'un corps étranger ne peut être repérée par rapport aux images des parties voisines du squelette que dans un seul cas, c'est lorsque la perpendiculaire abaissée du centre d'émission sur la plaque sensible passe par le corps étranger. Pour orienter les radiographies, il propose un appareil, le radioscope explorateur, qui permet de placer d'abord le corps étranger dans la position énoncée, qui donne au chirurgien la direction du corps étranger par les points d'entrée et de sortie de la droite passant par le corps étranger, qui mesure enfin sa profondeur sur cette droite.

Le radioscope explorateur se compose de deux anneaux métalliques centrés, qui donneront deux images concentriques, lorsque le point d'émission des rayons X sera sur la perpendiculaire passant par leur centre. On place la partie à examiner entre les deux anneaux, en la déplaçant de façon

que l'image du corps étranger vienne coïncider avec le centre des images concentriques des anneaux. Le corps alors sera sur la perpendiculaire abaissée du centre d'émission à la plaque.

Deux marqueurs impriment simultanément sur la peau les deux points d'entrée et de sortie de la perpendiculaire. La profondeur est mesurée par un procédé analogue à celui de M. Mergier. On déplace latéralement l'ampoule, on repère sur l'écran la seconde image obtenue ; on enlève le sujet, et on place, suivant la perpendiculaire déterminée, une échelle métrique dont les dimensions vont se projeter sur l'écran ; il suffit de lire la division qui correspond au point de repère laissé à la place de l'image.

L'appareil permet de prendre des radiographies orientées en remplaçant l'écran par une plaque photographique.

§ 6. — **Procédé de M. Leduc** (1).

On peut déterminer la position des corps vus dans les tissus à l'aide de la radioscopie d'une façon assez précise pour permettre au chirurgien de se diriger sûrement et sans hésitation vers eux.

La méthode consiste à marquer sur la peau, à l'aide d'un crayon dermographique, les traces de deux ou plusieurs plans passant par l'objet, dont la position se trouve déterminée par l'intersection de ces plans. Pour déterminer chacun de ces plans passant par l'objet, il suffit de marquer sur la peau trois points situés dans ce plan, ce qui se fait très facilement de la manière suivante : l'écran étant appliqué sur la partie du corps à examiner, et le tube étant en marche, on aperçoit sur l'écran l'ombre projetée par l'objet, on glisse alors entre la peau et l'écran une pointe métallique, l'ombre de la pointe se voit très nettement sur l'écran, on la fait coïncider successivement avec les deux extrémités du diamètre apparent de l'objet, et l'on marque sur la peau chacun des deux points ainsi déterminés ; on passe ensuite la pointe métallique de l'autre côté de la partie examinée, c'est-à-dire sur la peau, entre la partie examinée et le tube, et on la place de telle sorte que son ombre se projette sur l'écran au milieu de la ligne joignant les deux points préalablement tracés ; si l'ombre de la pointe n'est pas aperçue, on la remplace par un disque métallique de diamètre convenable ; le plan déterminé par les trois points ainsi marqués sur la peau passe par le grand diamètre de l'objet. La même opération, répétée dans une autre direction, c'est-à-dire en déplaçant la partie examinée par rapport au tube, donnera un autre plan dont l'intersection avec le premier contiendra le grand diamètre de l'objet ; si, au lieu d'un objet linéaire, on avait un objet à trois dimensions, plusieurs

(1) Détermination rapide et précise de la position des corps vus dans les tissus à l'aide de la radioscopie. *Bulletin de la Société française d'électrothérapie*, août 1897. *Gazette médicale de Nantes*.

plans déterminés de cette manière permettraient d'en fixer exactement la position dans les tissus.

Si l'on veut mesurer exactement la profondeur à laquelle se trouve le corps cherché, il suffit de dessiner sur un papier la périphérie de la partie examinée, de mener sur ce dessin les traces des plans; les distances de leur intersection à la périphérie sont les distances du corps à la peau.

« Les opérations que nous venons de décrire, dit M. Leduc, se font avec autant de rapidité que de facilité: quelques minutes suffisent pour préciser la

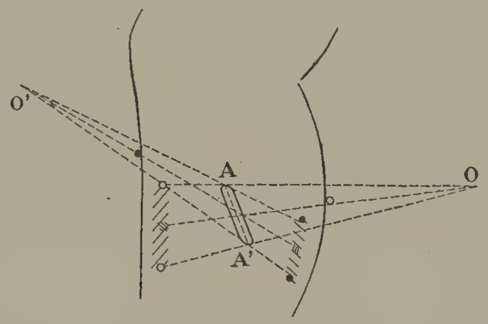


Fig. 310.— AA', corps dont on doit déterminer la position;—OO', positions successives de l'anode radiogène ; o,o,o, points déterminant les plans.

position d'un corps étranger et marquer au nitrate d'argent, sur la peau, les points de repère qui devront guider le chirurgien.

« Nous avons effectué des expériences en faisant enfoncer dans des pains des corps métalliques, et en déterminant leur position par notre méthode; nous avons toujours pu nous diriger vers eux par la voie la plus courte et la plus directe.

« Enfin, l'observation que nous croyons devoir résumer nous a permis d'éprouver sur le vivant la valeur de la méthode. Un jeune homme de vingt-six ans, en jouant avec une jeune fille qui tenait à la main une longue épingle à chapeau, fut piqué par celle-ci au tiers inférieur de la face externe de la jambe droite, l'épingle resta brisée dans la main de la jeune fille. On en chercha la pointe dans la jambe sans la trouver ; le jeune homme, quoique ne souffrant pas, fut consulter un chirurgien, qui, après examen, lui dit qu'il ne devait pas avoir d'aiguille dans la jambe.

« Pendant vingt jours, ce jeune homme ne souffrit nullement et marcha comme à l'ordinaire; puis, des douleurs commencèrent à se produire dans les muscles postérieurs de la jambe, et les douleurs augmentèrent, rendant la marche presque impossible. Nous vîmes le malade trente-cinq jours environ après l'accident. L'examen radioscopique nous révéla immédiatement l'existence d'une longue aiguille dans les muscles postérieurs de la jambe, au niveau du tiers supérieur ; cette aiguille était distante de la peau d'environ 2 centimètres dans sa partie la plus rapprochée, et, rien autre chose que la douleur et la radioscopie ne révélait sa présence : elle était absolument insensible au palper; nous marquâmes sur la peau, par le procédé décrit,

les traces de deux plans comprenant l'aiguille, et, guidé par notre tracé, nous pûmes extraire, sans aucune difficulté de recherche, une grosse épingle de $5^{cm},50$ de longueur, située dans la masse des muscles postérieurs de la jambe. »

Un procédé analogue a été présenté à l'Académie des sciences par M. Morize (1). Il ne diffère du précédent que par quelques détails pratiques.

§ 7. — **Emploi du compas Massiot** (2).

Cet instrument s'adapte au lit radiologique du docteur Guilleminot. Son maniement peut se résumer en trois phases :

1° Le malade étant placé sur le lit radiologique, exploration de la région intéressante, mise en place du compas repéré sur son corps et tirage des clichés radiographiques ;

2° Le malade étant parti, détermination de la situation de l'opaque dans l'espace et repérage de cet opaque par rapport aux trois pointes du compas;

3° Le malade étant dans la salle de chirurgie, le compas stérilisé est manié par le chirurgien comme un compas de sculpteur autant de fois que cela est utile au cours de son opération.

Nous ferons mieux comprendre sa description et son maniement en exposant le manuel opératoire à partir du moment où le malade est placé sur le plateau ou sur le châssis canné. Nous nous bornons d'ailleurs à reproduire ici la description que l'auteur a faite lui-même au Congrès de Boulogne.

Première phase. — *Le malade est sur le lit radiologique. — Détermination des points de repère. — Impression des clichés.* — Après avoir procédé à l'examen radioscopique et avoir déterminé approximativement la région intéressante au point de vue opératoire, on choisit trois points de repère que l'on trace sur la peau du malade. Ce sont ces trois points qui devront nous servir à repérer le compas toutes les fois qu'il sera nécessaire.

1° *Mise en place des tubes de Crookes.* — On examine à quel endroit du châssis porte-plaque devra être placée la plaque photographique pour obtenir sur cette même plaque deux radiographies, une dérivée à droite l'autre à gauche.

Remarque. — En général, on devra prendre une plaque de 20 centimètres plus large que celle que l'on prendrait si l'on avait à faire la radiographie pure et simple de la partie du corps à étudier.

Ceci étant fait, on dispose les tubes en leur donnant une position telle que l'ombre du corps étranger soit déviée d'une distance suffisante à gauche pour le tube de droite et à droite pour le tube de gauche ; il est bon d'ailleurs de se rendre compte de la déviation à la radioscopie avant de procéder à l'impression de la plaque radiographique.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 31 janvier 1898.
(2) Docteur Guilleminot, *Traité de radioscopie et de radiographie de précision*, p. 43.

2° *Mise en place de la plaque.* — La place approximative de la plaque étant fixée, il importe de déterminer sa position exacte dans son enveloppe de papier noir. (Nous conseillons de se servir d'enveloppes spéciales pour chaque grandeur de plaque : elles ont l'avantage, sur les châssis spéciaux pour la pose, de pouvoir être changées après chaque opération. On dispose la plaque enveloppée sur le châssis et l'on trace sur celui-ci le contour de l'enveloppe. Sur l'enveloppe où l'on a eu soin de marquer la position de la plaque dans cette dernière, il suffit pour cela de passer le doigt sur les quatre bords. On soulève le châssis porte-plaques jusqu'à ce qu'il vienne se fixer dans les quatre crochets situés à la tête et au pied du lit.

Remarque. — Si, au lieu de se servir du châssis canné, on peut, sans fatigue pour le malade, employer les planches, l'opération se trouve simplifiée de la manœuvre du châssis. Il suffit alors de glisser la plaque enveloppée sous le malade et d'en marquer l'emplacement par un trait de crayon sur la planche.

3° *Mise en place du compas de profondeur.* — Le compas de pro-

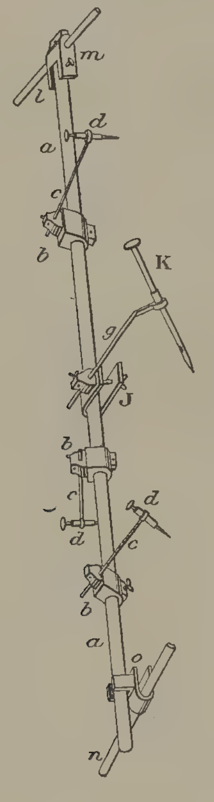


Figure 311.

fondeur à sonde se compose essentiellement d'une barre *a* de métal, le long de laquelle peuvent glisser trois noix *b*, qui soutiennent chacune une tige *c* à

l'extrémité de laquelle s'engage perpendiculairement une tige filetée et munie d'un bouton molleté.

En outre, une noix articulée *j* maintient à l'extrémité d'une tige *g* le support à centre de la sonde *k* et permet le déplacement en tous sens de cette dernière. Pour fixer le compas, on engage l'une de ses extrémités *l* de la barre principale *a* dans une charnière munie d'une pointe fixe et d'une mobile. On peut, à l'aide de ce dispositif simple, enlever et remettre le compas à sa place primitive sans déranger ses organes.

Le compas est maintenu au-dessus du malade à l'aide de tiges verticales et horizontales qu'on fixe solidement le long des barres mobiles transversales du lit.

L'autre extrémité du compas s'engage dans une fourche *o* et complète sa stabilité.

On déplace alors les tiges à pointe et on fait coïncider chacune d'elles avec l'un des points de repère tracés sur la peau et au besoin numérotés conformément à la tige correspondante.

On enlève le compas de ses supports en desserrant la contre-pointe de la charnière, puis on la place en endroit sûr, pour qu'aucune des pointes ne soit dérangée de sa position première.

4° *Exécution de la radiographie double.* — Si on a eu soin de choisir deux tubes d'égale résistance, il est possible, avec une bobine puissante, d'illuminer les deux tubes ensemble en les réunissant en quantité aux bornes de l'induit.

Sinon, on met l'un des tubes en action, puis l'autre, faisant en sorte de compenser, par les temps de pose, la différence de résistance des tubes pour avoir autant que possible deux images d'égale intensité sur la même plaque.

Dans cette opération, ainsi que dans les suivantes, il est indispensable que la position des tubes reste absolument invariable. Une bonne précaution à prendre pour éviter tout mouvement du fait de la mise en place ou de l'enlèvement des fils, c'est de relier les pôles des tubes respectivement à quatre bouts de fils dont les autres extrémités seront fixées sur la tige transversale.

Dans ces conditions, au lieu de brancher directement les fils de l'induit aux cathodes et anticathodes des tubes, on les branchera aux bouts de fils qui y aboutissent. Les deux poses terminées, on abaisse le châssis porte-plaque, on enlève la plaque pour la développer. La première phase de l'opération est terminée. Le malade se retire et n'aura plus à revenir au laboratoire de radiographie. C'est alors que, sur le lit où l'on vient d'opérer, va commencer une nouvelle phase de l'opération : la détermination dans l'espace de la place qu'occupait le corps étranger quand le malade était là.

Deuxième phase. — *Recherche de la position du corps étranger dans l'espace par rapport aux trois pointes-repères du compas de profondeur.* — La plaque développée accuse deux ombres A, A', qui sont les projections suivant deux angles différents du projectile B cherché.

On prend un carton dont l'épaisseur est sensiblement la même que celle de la plaque et dont les dimensions sont celles de l'enveloppe de la plaque.

A l'aide de cette dernière, on peut déplacer la plaque exactement à l'endroit qu'elle occupait dans son enveloppe. On indique par deux croix sur le carton le centre de chacune des ombres du projectile, et on dispose ce carton à l'endroit où se trouvait l'enveloppe sur le châssis-support (en ayant soin de disposer le tout dans le même sens que celui occupé précédemment par la plaque). On a eu soin aussi de relever le châssis-support de plaque comme quand on fait la radiographie.

On éclaire l'un des tubes et on fixe la pointe d'un radio-guide sur la croix du carton qui lui est opposée; l'autre extrémité du radio-guide est maintenue par un support adapté à l'une des traverses du lit.

On fait pivoter autour de sa pointe le radio-guide de façon que l'ombre de la tige métallique du radio-guide se confonde avec le centre de l'écran. La position de la tige indique à ce moment la distance de l'axe du cône d'émergence qu'a produit l'ombre.

On fait la même opération pour l'autre croix. Les deux tiges des radio-guides se rencontrent en un point qui représente le centre du projectile. On amène en coïncidence avec ce croisement la pointe d'une tige indépendante du compas, mais fixée invariablement au lit radiologique. Nous appelons cette pointe « pointe indicatrice ».

Comprenons donc bien le rôle de la pointe indicatrice, dont la mise en place est le but de toute cette deuxième phase de l'opération. La pointe indicatrice est destinée à préciser invariablement dans l'espace la position qu'occupait le corps étranger invisible quand le malade était sur le lit radiologique.

Comme les supports du compas sont, eux aussi, invariablement fixés, toutes les fois qu'on remettra le compas dans ses supports, les trois pointes-repères reprendront invariablement la position qu'elles avaient quand le malade était là. De sorte qu'il ne nous reste plus à considérer, à la fin de cette deuxième phase opératoire, que trois pointes-repères et une pointe indicatrice, toutes les quatre se replaçant toujours dans la même position relative.

Troisième phase. — *Le malade est placé sur la table opératoire de chirurgie* (*autant que possible dans la position qu'il avait sur le lit radiologique*). *Le chirurgien, prêt à opérer, a fait choix de sa ligne opératoire.*— Cette troisième phase de l'opération va avoir pour but de mettre aux mains du chirurgien le compas muni de sa sonde de profondeur en position, c'est-à-dire d'une tige qui, lorsque les pointes-repères seront en place sur le corps, viendra en contact avec le point d'élection opératoire et prendra la direction du corps étranger en indiquant sa profondeur.

Voici en quoi elle consiste :

Prenant le compas comme un compas de sculpteur, on le repère sur les trois points marqués. On amène la boule glissière de la sonde en contact

avec le point opératoire choisi, et on fixe le support de cette boule glissière dans cette position invariable.

On replace alors le compas dans la position primitive, sur le lit radiologique. On introduit la seconde sonde dans la boule glissière et, la faisant pivoter et glisser, on amène sa pointe en coïncidence avec la pointe indicatrice. On fixe la boule sur sa vis de pression et on fait un trait de crayon sur la sonde (c'est facile sur le maillechort mat) au niveau de la partie supérieure de la boule qui le soutient.

On la fait alors glisser dans sa boule pour la relever, on dégage le compas de ses supports et, le replaçant sur le malade après flambage nouveau au besoin, on pousse la sonde dans sa glissière jusque sur les téguments. Elle indique la position du projectile par sa position même, et la profondeur en dessous du point proposé est donnée par la distance du trait marqué sur la sonde à la partie supérieure de la boule. Le chirurgien a-t-il changé de décision, a-t-il modifié sa ligne opératoire, rien de plus simple que de le satisfaire.

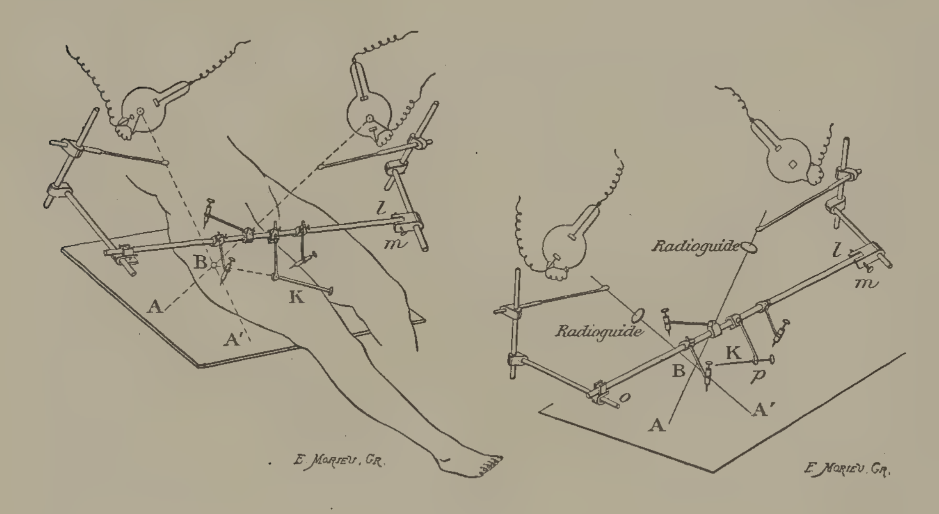


FIGURE 312.

On remet la boule glissière en contact avec le nouveau point choisi et on recommence la petite opération facile et rapide que nous venons de décrire sur le lit radiologique. Le compas est en cuivre nickelé, les noix en fer oxydé, et tous les organes en contact avec la peau sont en fer nickelé, parfaitement démontables, ce qui permet de les stériliser facilement. La sonde seule est en maillechort, pour permettre de recevoir les inscriptions.

Voilà donc un instrument simple, de maniement facile et permettant d'exécuter des opérations de précision. Il mérite à ce titre d'entrer dans la pratique de la radiographie.

§ 8. — Méthodes stéréoscopiques.

Ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, les méthodes stéréoscopiques ne sont pas, comme les méthodes géométriques que nous venons de décrire, disposées spécialement pour la recherche des corps étrangers. Ce sont des méthodes générales, et la recherche des corps étrangers est simplement un cas particulier de leur emploi. Nous faisons cette remarque, parce qu'on a cru généralement que le mot précision accolé, par exemple, au mot radiographie stéréoscopique, avait la même signification que pour les méthodes géométriques et indiquait qu'on pouvait repérer avec précision le corps étranger dans l'espace. Il n'en est rien: le mot de précision a une tout autre signification, ainsi qu'on pourra le voir au chapitre Stéréoscopie. Ce mot signifie simplement qu'en suivant les règles établies, l'œil apprécie exactement comme il le ferait pour un objet réel les distances qui existent entre les diverses parties de l'objet, qui sont décelées par la radiographie. Pour obtenir des mesures précises comme on le fait dans les méthodes géométriques, il faut employer la méthode stéréométrique de MM. Marie et Ribaut (Voir page 574).

La radiographie stéréoscopique peut être appliquée avec tous les matériels de radiographie, en y ajoutant quelques accessoires que tous les radiographes peuvent faire construire facilement. Sa manipulation est facile, car, en employant le stéréoscope de Cazes, on n'est jamais obligé de faire de rapetissement d'épreuves. Elle exige deux poses successives, mais elle partage cet inconvénient qui est le seul sérieux que l'on puisse lui reprocher avec beaucoup de méthodes géométriques. Nous avons déjà appliqué avec le plus grand succès la radiographie stéréoscopique à la recherche des corps étrangers. Après de nombreuses déterminations sur le cadavre, particulièrement pour la tête, nous l'avons appliquée sur le vivant avec la même facilité. Elle nous a servi pour de nombreuses extractions d'aiguilles, de balles dans les membres, depuis le bout des doigts jusqu'à la cuisse. Pour la tête, nous signalerons particulièrement les deux cas suivants : 1° *Une balle de revolver dans la face* ; nous avons montré qu'elle se trouvait à 1 centimètre au-dessus et en dehors de la partie antérieure de l'apophyse ptérygoïde ; 2° *Un grain de plomb qui avait pénétré dans l'orbite* ; nous avons montré que le grain de plomb devait être dans l'œil, car l'examen au stéréoscope le montrait à 5 millimètres en arrière du plan antérieur de l'orbite et très sensiblement au niveau de l'axe antéro-postérieur.

Docteur Marie,
Chargé de Cours à la Faculté de Médecine de Toulouse.

Docteur Cluzet,
Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Toulouse.

CHAPITRE II

APPLICATIONS CLINIQUES

GÉNÉRALITÉS

Définition. — On peut désigner sous le nom de *corps étrangers* les substances anormales solides venues du dehors soit par effraction, soit par les voies naturelles ou bien formées à l'intérieur de l'organisme, et qui, mécaniquement ou par simple action de présence, modifient les conditions d'existence des organes dans lesquels elles se trouvent.

Cette définition est spéciale aux applications des rayons X à la clinique ; elle nous amènera à considérer trois cas principaux : les corps étrangers ayant pénétré par les voies naturelles ; ceux qui ont pénétré par effraction, et enfin ceux qui se sont formés dans l'organisme. Parmi ces derniers nous citerons les esquilles osseuses d'origine traumatique, les séquestres osseux résultant d'une altération pathologique des os, les calculs, les corps étrangers articulaires, etc.

Les corps de cette dernière catégorie doivent être rattachés à ceux des deux premières, à cause de l'utilité de l'emploi des rayons X pour leur détermination.

Le tableau suivant résume la division que nous avons adoptée dans cette étude.

- I. — Corps étrangers introduits par les voies naturelles.
  - Dans les cavités splanchniques.
    - Tube digestif
      - Pharynx et œsophage.
      - Estomac.
      - Intestin.
      - Rectum.
    - Organes respiratoires
      - Larynx.
      - Trachée.
      - Bronches.
    - Organes génito-urinaires
      - Urètre.
      - Vessie.
      - Vagin.
      - Utérus.

II. — Corps étrangers pénétrant par effraction.

III. — Corps étrangers formés dans l'organisme { Esquilles osseuses. Séquestres. Calculs. Corps étrangers articulaires.

Remarques. — 1° On étudie ordinairement, avec les corps étrangers qui ont pénétré par les voies naturelles énumérées précédemment, ceux qui ont suivi la voie des organes des sens (conduit auditif, fosses nasales) et des canaux glandulaires. Nous avons cru inutile de faire cette étude pour les raisons suivantes :

a) Pour l'oreille : le conduit auditif externe est facilement exploré par les moyens ordinaires. Lorsque le corps étranger a dépassé le tympan, les rayons X deviennent utiles, mais on peut alors le considérer comme ayant pénétré par effraction ;

b) Pour les fosses nasales, les mêmes raisons peuvent être invoquées ; tant que le corps étranger reste dans les voies naturelles, les procédés d'exploration déjà connus suffisent, et, dès qu'il s'en écarte, il doit être considéré comme ayant pénétré par effraction ;

c) Pour les canaux glandulaires, tels que ceux des glandes salivaires et ceux du canal cholédoque, la forme même de ces conduits permet seulement l'introduction de corps très fins qui semblent a priori devoir échapper à l'examen par les rayons X. Il en est ainsi au moins pour tous les cas qui ont été déjà signalés.

2° Pour faire cette étude radiologique des corps étrangers au point de vue clinique, nous nous sommes basé sur les considérations suivantes : Le radiographe est nécessairement un médecin qui doit faire appel, pour les diagnostics difficiles, à toutes les ressources que lui procurent ses connaissances médicales. Quand il s'agit d'un corps étranger métallique, le seul examen aux rayons X, souvent même limité à la radioscopie, suffit pour entraîner la conviction ; mais la technique a fait trop de progrès pour que le champ d'exploration du radiographe soit limité à ce cas particulier des corps métalliques, et des exemples récents nous montrent qu'on doit rechercher tous les corps étrangers, quels qu'ils soient, même quand le résultat paraît problématique a priori. Il est évident que, pour les corps étrangers de cette dernière catégorie, les conclusions seront quelquefois douteuses, et il sera toujours utile, quelquefois même indispensable, que le médecin radiographe s'entoure de tous les renseignements qu'il pourra recueillir soit en interrogeant le malade ou les parents, soit en s'aidant des autres moyens d'examen, bien que ceux-ci n'aient généralement pas la précision des rayons X. C'est pour cette raison que nous avons donné pour chaque cas particulier quelques renseignements sur l'origine des corps étrangers, leurs lieux d'élection, les symptômes que présentent les malades, etc., d'une manière générale, tous les renseignements qui peuvent permettre au médecin

de confirmer un diagnostic resté douteux Nous nous sommes, bien entendu, limité au strict nécessaire, afin de ne pas sortir des limites de cet ouvrage.

Étiologie. — Presque toutes les classes de corps étrangers ont une étiologie particulière. Nous nous contenterons de signaler les points suivants :

Age. — L'enfant est souvent victime de cet instinct puissant qui le pousse à porter à sa bouche tout ce que sa main peut saisir. Aussi aura-t-on à rechercher surtout chez lui les corps étrangers du tube digestif et des voies aériennes. Les objets les plus divers pourront être retrouvés: jouets, plateaux de petits ménages, sifflets, billes de marbre, boutons, croix métalliques, etc. Ainsi donc, l'enfance a la spécialité des corps étrangers des voies naturelles, digestives ou respiratoires.

Avec l'adolescence apparaissent d'autres causes prédisposantes, plus nombreuses, plus graves, et qui diffèrent suivant qu'on les considère dans l'un et l'autre sexe. Le contingent des voies naturelles diminue sensiblement chez l'homme pour céder le pas à l'effraction. Les corps étrangers sont surtout des balles qui résultent presque toujours d'une imprudence. La jeune fille est moins exposée aux causes extérieures, aux corps étrangers par effraction ; elle est malheureusement plus souvent victime de la lubricité ; aussi a-t-on souvent à rechercher des corps étrangers de l'urètre, du vagin, de l'utérus.

A l'âge adulte, nous retrouvons les mêmes causes, variant un peu suivant les professions, le sexe, les habitudes, les maladies, etc.

Enfin, chez les vieillards, la principale cause de la présence des corps étrangers résulte d'un mauvais fonctionnement des organes. La mastication, par exemple, devient surtout défectueuse, et les morceaux d'aliments entiers, des os vont asphyxier les malheureux en obstruant les voies aériennes et l'œsophage, ou bien ce sont de fausses dents, des portions de râtelier qui, mal fixées, tombent dans le pharynx et produisent des accidents.

Les affections de l'urètre, de la vessie, sont fréquentes chez les vieillards et souvent les sondes dont ils se servent pour satisfaire à leurs besoins sont brisées. De même, des corps étrangers sont perdus dans le rectum, le vagin, etc.

En somme, chaque âge a ses prédispositions spéciales, et on ne devra pas l'oublier dans les recherches des corps étrangers de nature inconnue.

Profession. — De même, la profession est une condition importante dont il faut tenir compte. On retrouvera principalement dans les yeux des éclats de pierre, de fer, de cuivre chez les casseurs de pierre, les mécaniciens et tous les ouvriers qui travaillent et façonnent les métaux. Les tapissiers avalent assez souvent les clous dont ils se servent et qu'ils ont l'habitude de placer dans la bouche, de même chez les acrobates forains.

Nature. — La nature des corps étrangers est extrêmement variable. C'est par milliers qu'il faut les compter, et l'imagination aurait peine à embrasser cette série si longue des objets les plus bizarres. Au point de vue radiographique, les seuls qui nous intéressent sont les objets inanimés d'origine ani-

male, minérale ou végétale. D'ailleurs, cette distinction que nous établissons a priori sur la nature des corps étrangers n'est pas sans importance au point de vue des phénomènes ultérieurs, parce que l'organisme ne se conduit pas de la même façon dans les trois cas. Ainsi, la tolérance des tissus pour les corps d'origine minérale, et par suite inertes, est bien connue comparée à l'intolérance presque absolue pour les corps d'origine organique. Les végétaux tiennent le milieu en se rapprochant cependant davantage des corps d'origine animale.

Forme. — La forme est une des propriétés les plus intéressantes à considérer dans la recherche des corps étrangers. Si elle est régulière, elle les rend moins dangereux pour les organes, mais aussi plus mobiles. Une balle ronde, un tube de verre, une pièce de monnaie restent bien logés dans les conduits naturels sans grande tendance à les perforer primitivement. Il n'en est pas de même quand les corps sont irréguliers, parce qu'alors leurs pointes ou leurs aspérités s'enfoncent dans les chairs et s'opposent non seulement au déplacement, mais encore aux fonctions, qui sont singulièrement gênées. Il faut faire exception cependant pour les corps réguliers et pointus, comme les épingles, les aiguilles, les barbes d'épis de graminées, qui obéissent à certaines lois de progression et traversent les organes. Leur forme joue dans ce mouvement de migration un rôle considérable et rend compte de ces faits bien constatés où on voit des aiguilles avalées cheminer jusqu'au bas du pied. Ces considérations ne doivent pas être oubliées par le radiographe, elles entraînent deux conséquences importantes : la première, c'est que les corps étrangers de cette catégorie ne doivent pas être recherchés seulement dans les environs du point où ils ont pénétré ; la seconde, c'est que leur extraction doit être faite immédiatement après la détermination de leur position. De nombreuses observations déjà publiées viennent confirmer l'exactitude de nos considérations générales. Nous avons vu nous-même un cas de ce genre tout à fait typique. Nous avions déterminé par la radiographie stéréoscopique, et cela d'une manière exacte, la place d'une aiguille dans la masse musculaire du triceps huméral. Malheureusement, la tentative d'extraction fut faite cinq jours après, et le chirurgien rechercha en vain pendant une heure l'aiguille dans le voisinage de la région qui avait été fixée. Un examen radioscopique ultérieur la montra enfoncée dans le périoste dans une direction parallèle à celle de l'os contre lequel elle était collée et, par conséquent, dans des conditions où les doigts du chirurgien ne pouvaient pas la sentir.

Ces différences très marquées dans la forme n'excluent pas de grandes diversités dans le volume. Pour les corps qui ont pénétré par les voies naturelles, il y a nécessairement une certaine proportionnalité entre les organes et les corps étrangers qui établit une limite maxima que comporte chacun d'eux. Les corps qui ont pénétré par effraction sont de tous ceux qui peuvent le plus facilement acquérir un volume considérable, parce que, n'étant pas contenus dans un organe spécial, ils ne sont pas limités ni pour l'intro-

duction, ni pour la pénétration. Cette question de relation entre l'organe et l'objet est si importante, que tel corps qui était un obstacle dans un conduit ne mérite plus le nom de corps étranger dans un organe voisin. D'ailleurs, l'élasticité des conduits est souvent très marquée, et il en est, comme le rectum, qui sont d'une complaisance incroyable. On a pu y retrouver des chopes de verre, des bouteilles, des pilons, etc. Fort heureusement, les exemples de ce genre sont rares. Il ne faut pas oublier aussi que, lorsque les objets sont de dimensions plus faibles, ils peuvent s'accumuler en grande quantité dans un même conduit; ainsi, des graines de fraise, des noyaux de cerise, de prune, isolés dans l'intestin, ne paraissent pas, dans l'état actuel de nos connaissances, pouvoir être mis en évidence par les rayons X, tandis qu'il n'est pas certain a priori, qu'il en serait de même pour l'accumulation de ces substances dans une anse intestinale.

Consistance. — La consistance prête aussi à des considérations intéressantes. Certains corps sont très durs, comme les pierres, le fer, le plomb, la fonte et ne peuvent pas être fragmentés, tandis que d'autres, comme le cuir, les fragments de vêtements entraînés par les balles sont très mous. Ces derniers ne sont pas ordinairement déterminables par les rayons X ; et cependant ils peuvent être une cause de surprise pour le radiographe. L'un de nous a eu à examiner un jeune homme qui, par accident, s'était tiré un coup de revolver dans le mollet à travers les vêtements. Le trou d'entrée de la balle était très marqué, et la conviction de tout le monde était que le corps étranger avait pénétré jusqu'à une certaine profondeur le long du péroné. Deux radiographies faites suivant des plans perpendiculaires donnèrent un résultat négatif. La plaie suppurant, on retira au bout de quelques jours de celle-ci des débris de vêtements. L'explication de ces faits fut la suivante : la balle avait produit une simple contusion assez prononcée, des débris de vêtements étaient restés au fond de la plaie, et ceux-ci avaient été poussés par le stylet du chirurgien, dans une exploration préalable faite avant l'examen aux rayons X. Ces faits méritent d'être signalés et connus, parce que, pendant quelques jours, au moment de la suppuration, tout le monde était convaincu, malade compris, que la balle se trouvait bien dans le mollet et que le radiographe n'avait pas su la mettre en évidence.

Siège. — Les corps étrangers qui pénètrent par effraction peuvent exister dans tous les points de l'économie, soit qu'ils résultent de l'action des armes à feu, soit qu'ils aient pénétré poussés par une force quelconque. A vrai dire, le mode d'action ne diffère pas dans l'un et l'autre cas; cependant, le caractère spécial des corps étrangers qui peuvent accompagner les plaies par armes à feu en font un type particulier. Dans les tissus mous, il se produit une contusion et une tuméfaction profonde. Si la balle rencontre des corps osseux, il en résulte des fractures esquilleuses, des perforations bizarres, complètes ou incomplètes avec un retentissement éloigné qui se traduit par des fêlures ou des fissures à un degré moindre de force, ce sont des incrustations très solides à la surface ou dans la propre substance de l'os. Il faut

ajouter à ces détails la déviation de la balle, sa fragmentation, l'entraînement des débris de pierre, de sable, qui, en ricochant, viennent frapper le corps. En résumé, les corps étrangers provenant des armes à feu pénètrent partout, et on peut dire qu'il n'est pas un point de l'économie où on n'ait déjà rencontré des balles.

Pour les corps qui pénètrent par les conduits naturels, on doit invoquer d'autres causes qui font cheminer les objets. C'est un fait curieux que tous les conduits naturels, soit par leurs fonctions, soit par une disposition particulière, tendent à attirer les objets. Exemple l'urètre. Ce fait domine tellement la question des corps étrangers de la vessie, que les trois quarts des cas en sont la conséquence, de même l'action centripète de l'œsophage, qui agit malgré les individus et se conduit à l'égard des substances étrangères, comme pour le bol alimentaire, de même le pouvoir d'aspiration thoracique, l'action toute particulière du muscle releveur de l'anus, etc., etc.

Dès lors, le siège des corps étrangers n'a rien de précis, même pour ceux des voies naturelles, puisque les uns sont arrêtés en un point où ils sont retenus par leurs propriétés physiques ou l'action des parois, tandis que d'autres sont essentiellement mobiles et peuvent provoquer les accidents les plus redoutables sans se fixer. Les corps mobiles de la trachée sont dans ce cas. Cependant il y a des lieux d'élection où les corps s'arrêtent de préférence et que le radiographe doit connaître. En général, ils sont déterminés par les rétrécissements normaux ou par quelque disposition anatomique. Ainsi, l'anneau du cricoide, le pylore, la valvule de Bauhin, le sphincter interne sont de véritables lieux d'élection pour le tube digestif ; de même, la grande majorité des corps qui s'arrêtent dans les voies aériennes se fixent dans le larynx ou dans la bronche droite. Ces points d'élection des corps étrangers sont surtout importants pour les corps facilement mobiles. Il est évident que les aspérités des objets augmentent beaucoup les chances de fixité, parce que les points s'engagent dans la muqueuse et ne peuvent pas être facilement retirés. Aussi peut-on trouver des corps fixés partout, même en dehors des lieux d'élection.

Symptômes. — Les accidents dus à la présence des corps étrangers dans l'organisme méritent de nous arrêter un instant, car ils peuvent montrer au radiographe quelle est la région du corps qui contient le corps étranger et, par conséquent, éviter des recherches inutiles. A ce point de vue, on doit signaler, parmi les accidents primitifs, *la douleur* qui ne fait presque jamais défaut et qui change d'intensité et de caractère en passant d'une région à l'autre : tantôt elle est constante, tantôt elle augmente avec les mouvements (effraction, balles) ; ou bien elle est aiguë ou piquante, sourde ou obtuse et quelquefois si intense qu'elle provoque des syncopes, ou fait pousser des cris au malade. Il faut signaler aussi, parmi les accidents primitifs, les *spasmes des muscles* qui appartiennent à la zone réflexe du point occupé par le corps étranger. Ces troubles réflexes de la motilité existent aussi lorsque les corps ont pénétré par les voies naturelles. C'est ce spasme qui engendre la suffo-

cation si accentuée dans le cas de corps arrêtés dans l'œsophage. On l'a vu être assez puissant pour entraîner la mort au bout de peu de temps. Le même phénomène se produit, mais avec moins de gravité, par alternative d'expiration quinteuse due à des contractions intermittentes, lorsque le corps étranger a pénétré dans les voies aériennes. Les mêmes spasmes se produisent pour l'estomac, l'intestin, la vessie, l'urètre, etc., quand un corps étranger vient à pénétrer dans leurs cavités. Il en résulte des vomissements, incontinence d'urine, et, pour le rectum, des épreintes, du ténesme qui rendent illusoire la contraction spasmodique du sphincter. Les fonctions d'un organe ou d'une partie du corps qui est le siège d'un corps étranger sont généralement troublées; par exemple, le membre qui est le siège d'une balle ou d'un éclat d'obus devient toujours impotent, et tout mouvement provoque et exacerbe la douleur. La déglutition, la respiration se font mal lorsque l'œsophage et la trachée sont intéressés. Si c'est l'urètre, l'urine ne coule que goutte à goutte, et les selles peuvent être impossibles quand le rectum est occupé par un corps étranger, etc.

La présence des corps étrangers dans l'organisme peut aussi être la cause d'une *irritation*, conduisant à des accidents inflammatoires. Leur intensité peut varier presque à l'infini, suivant les conditions dans lesquelles se trouvent les corps pénétrants, car tous les tissus ne réagissent pas de la même manière; d'ailleurs, les propriétés physiques ou autres du corps étranger, interviennent aussi comme nous l'avons montré plus haut. Il en résulte que les accidents inflammatoires peuvent être aigus et causer rapidement de la rougeur, du gonflement, de la douleur et des troubles fonctionnels, et, dans d'autres cas, des accidents subaigus ou chroniques, lorsque les tissus s'habituent peu à peu au contact du corps anormal. Presque toujours l'état général est rapidement influencé, et tant que la cause persiste, ces altérations vont croissant et minent peu à peu la santé au point de produire une cachexie bien connue, à laquelle on a donné depuis longtemps le nom de marasme des corps étrangers.

Le spasme musculaire que nous avons signalé plus haut, et qui est la conséquence de la présence du corps étranger dans une région, nous explique facilement les déplacements que subissent les corps étrangers dans l'organisme. Deux cas principaux méritent d'être signalés : 1° celui d'un objet arrondi qui occupe une voie naturelle, et qui, sous l'influence de la pression que les parois du conduit exercent sur lui, tend constamment à progresser; 2° celui d'un corps étranger de forme irrégulière placé directement au sein des tissus. Dans ce dernier cas, les effets de la pression ne seront pas uniformes pour toute la surface du corps étranger, et si c'est, par exemple, une aiguille, ces effets seront maximum aux deux extrémités, provoquant aussi le déplacement de celle-ci par sa partie la plus fine dans l'intérieur des tissus.

Diagnostic. — Le diagnostic d'un corps étranger se fait souvent avec une facilité extrême par les rayons X. C'est le cas des corps étrangers métal-

liques, d'une manière générale des corps très denses donnant des ombres dont l'opacité est nettement différente de celle des tissus, mais il est malheureusement de nombreux cas où la distinction est douteuse, et le médecin radiographe doit s'entourer de tous les renseignements possibles pour acquérir une conviction. A cet égard, les renseignements fournis par les personnes qui ont assisté à l'accident, ou le malade lui-même sont souvent précieux. Il ne faut pas oublier, cependant, que ces renseignements donnés par le malade font défaut lorsqu'il s'agit d'un enfant en bas âge ou lorsque l'accident est le résultat d'une passion honteuse. Les symptômes subjectifs, les troubles fonctionnels dont nous avons parlé plus haut rendent aussi des services. Les symptômes objectifs devront aussi être étudiés méthodiquement par le médecin radiographe avant de procéder à la recherche du corps étranger par les rayons X. Si, en effet, l'aide des sens, en particulier de la vue et du toucher, si l'emploi des stylets ou des sondes en plomb sont généralement insuffisants pour connaître la position occupée par le corps étranger, ils peuvent être utiles à deux points de vue : 1° en aidant à établir la conviction de l'existence ou de la non-existence du corps étranger ; 2° en aidant à reconnaître la région du corps intéressée.

PREMIÈRE SECTION. — CORPS ÉTRANGERS INTRODUITS PAR LES VOIES NATURELLES

§ 1. — **Corps étrangers du tube digestif.**

Les corps étrangers que l'on rencontre dans le tube digestif peuvent être divisés en deux classes : ceux qui proviennent de l'alimentation et ceux qui sont introduits anormalement par suite de la perversion des idées, par imprudence, forfanterie, malveillance, etc.

1° Corps étrangers d'origine alimentaire

Deux facteurs jouent le rôle principal dans la production des corps étrangers des voies digestives d'origine alimentaire, ce sont : d'une part, le tube digestif ; de l'autre, l'aliment. Toutes les fois que l'équilibre qui existe entre eux vient à être compromis, l'arrêt des aliments a lieu ; si le canal est sain, il faut que le plus souvent l'aliment présente quelque particularité, quelque imperfection qui prédispose à son séjour et modifie la régularité de la fonction ; de même, si l'aliment se trouve dans les conditions ordinaires, ce sera le tube digestif qui, par quelque altération organique ou fonctionnelle, favorisera l'arrêt et déterminera des accidents.

Presque toutes les affections du canal alimentaire prédisposent plus ou moins à l'arrêt des corps étrangers, qu'elles soient congénitales ou acquises,

inflammatoires ou néoplasiques, fonctionnelles, nerveuses ou organiques.

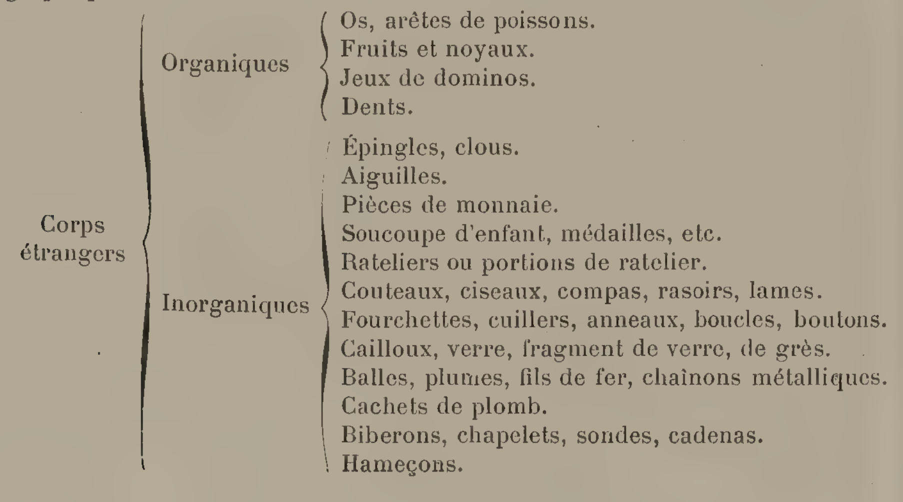
Ainsi, la perte des dents expose à une mauvaise division et mastication des aliments, chez le vieillard, dont l'œsophage a perdu d'ailleurs son élasticité et qui peut ainsi être exposé plus que toute autre personne à un arrêt dans le pharynx ou l'œsophage. Les rétrécissements néoplasiques ou cicatriciels de l'œsophage sont une cause plus importante encore des arrêts des matières alimentaires grossières, telles que les os, arêtes de viande et de poisson, des corps étrangers de toutes sortes qu'on trouve dans les boissons et surtout le verre des récipients. Les morceaux d'os, qui sont les corps étrangers alimentaires les plus importants, proviennent surtout des aliments liquides, bouillons, soupes, etc.

2° Corps étrangers d'origine non alimentaire

L'instinct qui pousse les petits enfants est le point de départ de nombreux accidents. Chez les fous, les ivrognes, on rencontre, de même que chez les enfants, les objets les plus bizarres dans le tube digestif, surtout chez ceux qui ont la manie du suicide. L'imprudence est de toutes les causes la plus importante; ainsi celle de personnes qui cherchent à se faire vomir en introduisant un corps plat et long, par exemple une fourchette, dans le pharynx. Il faut y ajouter les pièces dentaires avalées pendant le sommeil.

A. — *Corps étrangers du pharynx et de l'œsophage.*

On les rencontre en trois points principaux : 1° au niveau du cartilage cricoïde ; 2° au niveau de la première côte ; 3° au niveau de l'orifice diaphragmatique, lorsque l'œsophage est normal. Dans le cas de rétrécissement cicatriciel, il est évident que l'on peut rencontrer un corps étranger en un point quelconque. Nous donnons ci-dessous un tableau de corps étrangers qui ont été trouvés dans le pharynx et l'œsophage et qui peuvent être reconnus par un examen aux rayons X soit radioscopique, soit radiographique.



Corps étrangers	Organiques	Os, arêtes de poissons.
		Fruits et noyaux.
		Jeux de dominos.
		Dents.
	Inorganiques	Épingles, clous.
		Aiguilles.
		Pièces de monnaie.
		Soucoupe d'enfant, médailles, etc.
		Rateliers ou portions de ratelier.
		Couteaux, ciseaux, compas, rasoirs, lames.
		Fourchettes, cuillers, anneaux, boucles, boutons.
		Cailloux, verre, fragment de verre, de grès.
		Balles, plumes, fils de fer, chaînons métalliques.
		Cachets de plomb.
		Biberons, chapelets, sondes, cadenas.
		Hameçons.

Les symptômes que nous avons indiqués plus haut d'une manière générale se retrouvent, d'une manière particulièrement nette, dans le cas de corps étrangers de l'œsophage. Ce sont la douleur, les suffocations, les spasmes et convulsions, la toux et l'expectoration, la dysphagie, qui est de règle lorsque le corps arrêté est un peu volumineux, l'altération de la voix, etc. Tous ces symptômes disparaissent ordinairement dès que le corps étranger est arrivé dans l'estomac, et, par conséquent, sont un signe précieux de la partie du corps où il faut rechercher le corps étranger. Les accidents causés par leur présence sont très nombreux et très graves : accidents inflammatoires, abcès, perforations, et, par conséquent, exigent un examen très rapide.

Les moyens d'examen employés avant la découverte des rayons X étaient souvent tout à fait insuffisants : la vue ne saurait dépasser le pharynx ; le toucher direct interne ou externe ne peut s'exercer aussi qu'à une faible distance de l'extrémité du tube digestif. D'ailleurs, cet examen est souvent très difficile, le cathétérisme est souvent insuffisant, surtout lorsque le corps étranger a une forme aplatie ou irrégulière, laissant un vide suffisant pour le passage des sondes. L'examen aux rayons X est très facile à faire, même chez les malades fortement déprimés par la présence de corps étrangers, et permettra, si son opacité est suffisante, de conclure d'une manière très précise. On a souvent intérêt à faire l'examen oblique du thorax en plaçant successivement l'écran fluorescent soit en arrière, soit en avant de la poitrine. Il y aura aussi intérêt à déplacer le tube producteur des rayons X pendant l'examen, et cela en prenant des précautions que recommandent MM. Guilleminot et Béclère, c'est-à-dire en employant un dispositif qui permet de connaître à chaque instant la position du rayon normal.

Nous croyons inutile d'insister sur les conditions dans lesquelles on doit faire les examens soit radiographiques, soit radioscopiques des corps étrangers du pharynx et de l'œsophage, car cette étude doit être faite dans d'autres chapitres de cet ouvrage. Il suffira de combiner ces indications générales avec les données spéciales exposées dans la partie technique de cette étude des corps étrangers. D'ailleurs, pour le pharynx et l'œsophage, le problème de la détermination de la position du corps étranger est limité à une détermination de hauteur. Souvent même il suffit de savoir à quelle vertèbre cervicale ou dorsale correspond le corps étranger. Par conséquent, un simple examen antéro-postérieur soit radioscopique, soit radiographique, suffira dans la plupart des cas. On pourra y ajouter un examen radioscopique latéral, qui permettra de mieux se rendre compte de la forme du corps étranger et de ses rapports avec la colonne vertébrale. Les méthodes spéciales, telles que la radioscopie et la radiographie stéréoscopiques, ne seront utiles que dans des cas très particuliers.

On a publié déjà un assez grand nombre d'observations de corps étran-

gers du pharynx et de l'œsophage reconnus et repérés par les rayons X. Au début, c'étaient surtout des corps métalliques et principalement des sous avalés par les enfants. Il suffit de signaler ces cas : le diagnostic est alors des plus faciles. Les fragments d'os, les dentiers ont été aussi signalés comme ayant été reconnus dans l'œsophage même chez les personnes adultes.

D'autres corps moins denses encore ont été signalés, et nous donnerons bientôt, quand nous nous occuperons du larynx, dont les conditions d'examen sont analogues à celles de l'œsophage, deux observations de M. le professeur Bergonié, de Bordeaux, en particulier celle d'un morceau de sucre qui a pu être distingué et reconnu n'être pas une croûte de pain que l'on supposait avoir été avalée.

B. — *Corps étrangers de l'estomac.*

Les corps étrangers de l'estomac doivent être ou d'un volume supérieur aux dimensions ordinaires du pylore ou de formes assez irrégulières pour s'implanter dans les parois. Ce sont les raisons pour lesquelles les corps étrangers de l'estomac sont très longs ou très petits et très irréguliers. Ex. : les fourchettes, les couteaux, etc., les aiguilles. Tous ceux qui ont un volume intermédiaire passent facilement dans les portions les plus éloignées de l'intestin et ne sont pas à proprement parler des corps étrangers de l'estomac. Certains corps qui étaient considérés comme des corps étrangers pour le pharynx et l'œsophage cessent de l'être pour l'estomac, ce sont ceux qui sont attaqués par le suc gastrique. L'estomac forme une vaste cavité dans laquelle les corps étrangers arrivent par la partie supérieure. L'action de la pesanteur les fait tomber dans la partie déclive qui se trouve au niveau de la grande courbure, au-dessous du pylore. Si par sa structure, ses pointes ou ses aspérités, le corps étranger accroche la muqueuse, il ne suivra pas cette voie. Au contraire, plus le corps sera pesant; plus il descendra facilement. Les barres de plomb, les cuillers, les fourchettes se placent ainsi transversalement à la partie inférieure de l'organe, obliquement dirigées suivant son grand axe, c'est-à-dire de gauche à droite et de haut en bas. Les mouvements péristaltiques ne modifient presque jamais cette disposition.

La cause de l'arrêt des corps étrangers dans l'estomac est le pylore ; c'est lui qui donne la mesure en quelque sorte des dimensions des corps qui peuvent le franchir. Il faut remarquer cependant si une pièce de 2 francs passe assez difficilement par le pylore sur le cadavre et si une pièce de 5 francs ne passe qu'en produisant des déchirures; on a vu des objets beaucoup plus volumineux passer par le pylore sur le vivant. Il semble donc qu'il faut tenir compte de l'élasticité des parois de cet orifice.

Une autre disposition anatomique qui favorise l'arrêt des corps surtout lourds dans l'estomac, c'est l'existence d'une cavité au-dessous de l'orifice pylorique.

Après la digestion, ce cul-de-sac s'efface sous l'influence des contractions péristaltiques et permet ainsi à l'estomac de vider tout son contenu dans l'intestin. Au contraire, quand un corps lourd se trouve au fond de l'estomac, ce dernier éprouvera une résistance anormale dont il ne triomphera pas toujours et qui empêchera le passage de l'obstacle dans l'intestin.

Un corps même volumineux qui tombe dans l'estomac pendant le repas peut ne pas déterminer d'accident dans cet organe et franchir aisément le pylore avec les autres matières alimentaires. Au contraire, si l'accident se produit pendant l'état de vacuité, il ne passera pas aussi facilement, et sa présence seule pourra déterminer des symptômes qui rendront le passage ultérieur plus douteux.

Parmi les corps qui ne sont pas entraînés avec les aliments et qui restent dans l'estomac pendant un certain temps, il en est qui ne provoquent aucun accident. Il arrive même souvent que le malade n'en a même pas la perception et que le bien-être constaté à la suite du passage du corps étranger de l'œsophage dans l'estomac persiste indéfiniment jusqu'à l'issue du corps étranger dans les selles. Malheureusement, il n'en est pas toujours ainsi et dans bien des cas le malade éprouve un malaise indéfinissable, accompagné d'angoisse, d'anxiété précordiale. Il se trouve dans cet état si pénible qui précède les nausées et qui retentit bien vite sur l'état général; la face devient pâle, grippée, et le malade éprouve une douleur de plus en plus grande, qui peut être limitée et ressemble au point de côté de la pleurésie ou de la névralgie intercostale, ou bien, au contraire, être transversale en s'étendant de l'un et de l'autre hypocondre. Quelquefois cette souffrance diminue sous l'influence de l'ingestion des aliments, et cela parce que la masse alimentaire isole le corps étranger de la paroi en dilatant l'estomac et en évitant sa contraction spasmodique sur les irrégularités de l'objet. Toute pression exercée sur la région épigastrique augmente la douleur. D'ailleurs, le malade cherche à éviter les respirations forcées à cause de la pression qu'exerce le diaphragme sur l'estomac. Les nausées, les vomissements d'aliments de nature sanguinolente, bilieuse, sont très fréquents.

L'inappétence est un des symptômes concomitants ordinaires. Il n'est pas rare de trouver des cas où des malheureux ont dû rester plusieurs jours sans boire, manger, ni dormir. Même dans des exemples où l'intolérance de l'estomac est moins absolue, on voit l'amaigrissement arriver à grands pas; le marasme se produit en très peu de jours ; d'ailleurs, la sécrétion gastrique et peut-être même intestinale rendent cet affaiblissement encore plus rapide.

En somme, l'appareil symptomatique des corps étrangers de l'estomac n'a rien de caractéristique : c'est un ensemble de phénomènes subjectifs qui sont communs à d'autres affections et qui sont très insuffisants pour le diagnostic. Quant aux symptômes objectifs, ils sont nuls dans un grand

nombre de cas, même lorsque, relâchant les parois du ventre, on cherche à percevoir le corps étranger qui forme une tumeur dans la région épigastrique.

Cependant, les explorateurs de l'estomac, sondes ordinaires, à boule ou résonnateurs, peuvent être très utiles. Il est vrai que leurs indications sont positives, surtout dans le cas de corps étranger métallique, dont l'examen par les rayons X est d'une facilité extrême. Il est donc avantageux à tous les points de vue de s'adresser à ces derniers.

Les rayons X peuvent donc rendre de très grands services dans la recherche des corps étrangers de l'estomac, car cette région est facile à explorer même par la radioscopie. Ces symptômes étaient cependant utiles à connaître pour le médecin radiographe, soit pour diriger ses recherches, soit pour affermir sa conviction dans les cas douteux. Il est évident que, si la recherche d'un corps étranger métallique dans l'estomac permet des conclusions nettes, il est d'autres corps, tels que les fragments d'os, qui peuvent laisser des doutes dans l'esprit de l'observateur.

Les accidents dus à la présence de corps étrangers dans l'estomac (inflammations, ulcérations, perforations, tumeurs, etc.) sont analogues à ceux que produisent les corps étrangers de l'œsophage, tout en ayant moins de gravité, et nous croyons utile d'y insister.

C. — *Corps étrangers de l'intestin.*

Les corps étrangers de l'intestin ont été avalés ou se sont formés de toutes pièces dans son intérieur (calculs). L'origine des premiers nous est connue, et il suffit de suivre leur évolution dans cette portion des voies digestives et de chercher les causes de leur arrêt et les conditions qui les favorisent. Il faut prendre pour limites de l'intestin le duodénum, d'une part, et l'S iliaque, de l'autre. Entre ces deux points extrêmes, il ne mesure pas moins de 6 mètres, et c'est cette longueur que devront parcourir les corps étrangers qui auront été tolérés par le pylore et ceux qui se seront formés aux dépens des masses alimentaires ou de quelque calcul. Malgré sa longueur, l'intestin prédispose assez peu à l'arrêt des corps étrangers ; on peut même dire que sa tolérance fonctionnelle est bien supérieure à celle des autres portions du tube digestif. Beaucoup de corps d'un volume moyen ne sont pas plus perceptibles pour nous que les matières alimentaires ; toutes ces conditions avantageuses disparaissent quand ils atteignent la dernière portion de l'iléon et la valvule iléo-cæcale. Jusqu'en ce point le calibre de l'intestin reste sensiblement égal, assez large, assez souvent dilaté et rarement le siège de contractions spasmodiques énergiques, comme il en existe pour l'œsophage et l'estomac. On y observe bien des contractions péristaltiques ; mais ce mouvement lent, vermiculaire, est très favorable à la progression des corps étrangers, parce qu'il agit sans brusquerie sur un corps lubréfié par les droduits sécrétés. Si le corps s'arrête dans sa progression, la contraction

ne devient pas tonique comme dans l'œsophage, et ses aspérités ont par suite moins de tendance à ulcérer les parois, qui cèdent un peu par leur souplesse ; ce n'est pas une règle sans exception, mais un fait à peu près général.

Au contraire, la seconde portion de l'intestin est plus favorable à l'arrêt du corps étranger, et les conditions anatomiques expliquent suffisamment cette prédisposition : d'une part, un orifice valvulaire assez étroit situé à angle droit, à quelque distance de l'extrémité du cæcum; d'autre part, un appendice cæcal susceptible de retenir les corps étrangers. Ajoutons encore à ces particularités l'influence certaine de l'insertion angulaire des deux portions d'intestin l'une sur l'autre, qui produit une courbure à angle aigu dans le parcours des matières, et on comprendra pourquoi cette portion du tube digestif est un des lieux d'élection.

Enfin, sans sortir des dispositions normales, on trouve encore dans le gros intestin des vacuoles formées par les bandelettes fibreuses longitudinales et transversales, qui circonscrivent des espaces auxquels on a donné le nom de cellulosités. Ce sont là autant de nids de pigeon, de valvules sigmoïdes, qui se prêtent aisément à la rétention des corps étrangers.

L'influence des conditions pathologiques sur l'arrêt des corps étrangers dans l'intestin est considérable. Les unes sont extérieures à l'intestin sain, tumeurs, grossesse, etc. ; les autres résident dans quelque altération particulière ou quelque anomalie qui en modifient la largeur.

Le diagnostic des corps étrangers de l'intestin présente souvent de grosses difficultés, ainsi que nous l'avons dit plus haut. Il n'est donc pas inutile de signaler les symptômes qui permettent d'aider aux conclusions. Lorsque les corps étrangers suivent le cours normal des matières, les phénomènes sont très légers. On remarque quelques douleurs, des coliques qui ne persistent pas longtemps au même point, voyageant insensiblement avec des moments de calme et des exacerbations passagères, toute pression sur l'abdomen l'accroît, et si elle est très intense, elle peut produire du ténesme, des tranchées, la rétraction des testicules, etc. Lorsque les corps étrangers progressent plus lentement que les matières, soit parce que leur volume est considérable, soit parce qu'au contraire, ils sont très petits, ce qui leur permet de s'arrêter facilement en un point déterminé, les symptômes deviennent plus caractérisés. Cette lenteur dans la marche n'est pas régulière et n'est soumise à aucune loi. Elle dépend de la forme du corps et de son volume par rapport à ceux de l'intestin, etc. La progression se fait ordinairement par saccades, les stades d'arrêt se comptant par jour ou par mois, suivant le cas ; c'est ordinairement au cæcum que l'arrêt est le plus long et le plus fréquent. La douleur se produit comme précédemment, mais elle a un caractère de plus, c'est sa fixité en un point déterminé pendant toute la durée de l'arrêt dans la progression. Le début de la douleur est brusque, et sa terminaison presque subite, quand le corps étranger reprend sa marche. Il est rare

qu'après plusieurs accès de durée variable en des points divers, cette douleur ne finisse pas par se fixer assez longtemps au niveau de la fosse iliaque droite. Elle est quelquefois assez violente pour produire des convulsions, de la syncope. On remarque aussi les troubles fonctionnels proportionnés à l'intensité des accidents, disparition de l'appétit, nausées, vomissements muqueux ou bilieux, hoquets, etc. Tantôt il y a de la constipation, tantôt de la diarrhée, les selles peuvent être sanguinolentes s'il y a altération de la paroi intestinale. Le passage dans le rectum est la terminaison ordinaire dans cette catégorie de corps étrangers, ce qui fait cesser tous les symptômes, à moins que l'intensité des troubles généraux ne permette pas le rétablissement des malades.

Les signes objectifs rendent peu de services; il est rare que la palpation permette de sentir le corps étranger arrêté, car il y a généralement du météorisme. Si le corps arrêté au niveau de la valvule iléo-cæcale en obture momentanément ou définivement l'orifice, on a tous les signes de l'obstruction intestinale. Il est intéressant de remarquer la gravité des symptômes subjectifs comparée à la faible importance des signes objectifs. Cette comparaison a de l'importance dans l'emploi des rayons X, dans la recherche des corps étrangers de l'intestin. Cette étude est difficile, et actuellement les rayons X ne paraissent rendre des services que dans des cas particuliers. Il n'est nullement défendu d'espérer que leur champ d'action s'étendra dans l'avenir, soit par le perfectionnement de la technique, soit par l'accumulation des observations.

D. — *Corps étrangers du rectum.*

Les corps étrangers du rectum peuvent être rangés dans trois groupes bien tranchés suivant leur origine : les uns, introduits par la bouche, n'arrivent au rectum qu'au terme de leur parcours ; les seconds se sont formés dans le rectum ou dans les parties voisines; enfin, les derniers y ont été introduits directement par l'anus.

Les corps étrangers introduits par la bouche ne nous arrêteront pas, car nous ne pourrions que répéter ce que nous avons dit plus haut pour les autres portions du tube digestif.

Les corps étrangers de la deuxième catégorie, formés dans le rectum, seront étudiés plus loin avec les corps étrangers formés dans l'organisme.

Les corps étrangers de la troisième catégorie, qui sont introduits directement dans le rectum par l'anus, forment une série extrêmement variée. Les uns sont le résultat d'un traumatisme ou résultent de la malveillance ; d'autres ont été volontairement cachés dans le rectum ou, au contraire, ont été introduits involontairement dans un but curatif par des ignorants ou par des hommes de l'art.

On trouve dans cette catégorie les corps les plus fantaisistes, et le radiographe qui sera appelé à aider au diagnostic d'un corps étranger du rectum

pourra s'attendre à toutes les surprises : morceaux de bois, cailloux, billes, crayons d'ardoise, fourchettes, pots de confitures, chope de bière, pilon de mortier, etc.

Les symptômes subjectifs résultant de la présence de corps étrangers sont : 1° la douleur, qui est le symptôme le plus ordinaire et qui est en général le résultat d'un phénomène physiologique, le besoin de la défécation. Si le corps étranger est pointu ou coupant, il peut blesser les parois du rectum pendant les efforts de la défécation, et il peut ainsi arracher des cris subits au malade, qui éprouve une douleur aiguë et soudaine.

L'irritation de la muqueuse rectale entraîne en outre des contractions spasmodiques de la musculeuse et des autres muscles du plancher du bassin, qui entraînent des douleurs dont l'intensité croît progressivement. On remarque aussi des troubles génito-urinaires qui débutent quelquefois les premiers et acquièrent une telle intensité, que le malade ou le médecin, induits en erreur, cherchent dans ces troubles l'origine du mal.

On remarque enfin des sueurs froides, des convulsions, la perte d'appétit et, par suite, un affaiblissement rapide. Les symptômes physiques font souvent défaut, surtout quand le corps étranger vient des voies supérieures ; dans le cas contraire, on pourra observer des lésions de l'anus qui mettront sur la voie.

Les seuls symptômes objectifs sérieux sont donnés par le toucher rectal, pourvu que le corps ne soit pas situé trop haut. Dans tous les cas l'examen aux rayons X pourra aider dans une large mesure au diagnostic et permettra de connaître la position occupée par le corps étranger, surtout quand il faudra dépasser les limites d'exploration rectale.

Les accidents causés par la présence des corps étrangers dans le rectum sont très analogues à ceux que nous avons déjà étudiés en nous occupant de l'intestin, et il est inutile d'y insister afin d'éviter toute répétition.

§ 2. — **Corps étrangers des voies respiratoires.**

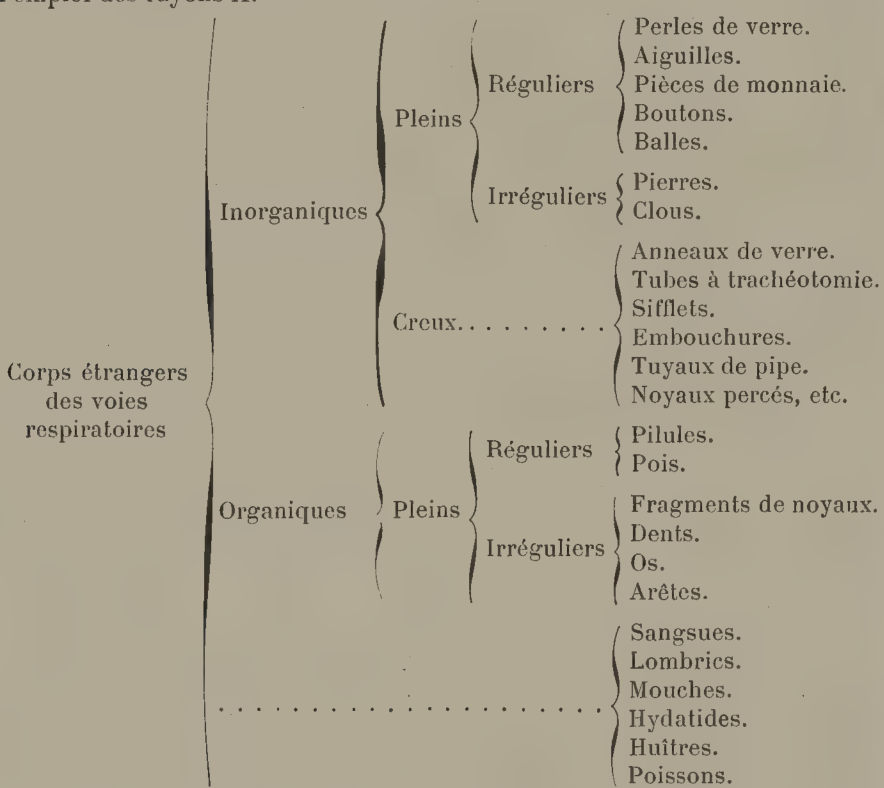
Les corps étrangers solides sont les seuls qui, au point de vue des rayons X, méritent de nous arrêter.

Ils sont introduits accidentellement dans le larynx, la trachée et les bronches, et sont surtout fréquents dans l'enfance et dans la vieillesse. Chez les enfants, c'est l'habitude fâcheuse de porter à la bouche tous les objets qu'ils rencontrent, jointe à la mobilité de leurs idées et de leurs impressions qui se succèdent sans suite et leur fait oublier la présence de ces substances étrangères. Chez le vieillard, c'est l'altération de la sensibilité générale, l'affaiblissement progressif de tous les actes fonctionnels, la difficulté et l'imperfection de la mastication qui jouent le principal rôle. De toutes les causes fonctionnelles, c'est la déglutition qui est la plus importante. Parmi les causes pathologiques on doit surtout

signaler celles qui intéressent la sensibilité et la motilité du pharynx et du larynx.

Dans tous les cas, c'est à la faveur d'une forte inspiration, tantôt volontaire, tantôt intempestive, assez souvent inconsciente et réflexe, que cette introduction s'effectue. On a signalé aussi un assez grand nombre de corps étrangers ayant pénétré dans la trachée à la suite de la trachéotomie, soit qu'ils fussent constitués par les tubes eux-mêmes, mal ajustés, soit de corps étrangers ayant pénétré par la canule. On peut ajouter à cette liste déjà trop longue les corps étrangers venus du poumon, soit qu'ils s'y soient formés de toutes pièces, soit qu'ils y aient été introduits par une plaie ou une altération de la paroi thoracique (plaies par armes à feu, par traumatisme, etc.).

La variété des corps étrangers des voies respiratoires est infinie. Nous nous contenterons de donner ci-dessous un tableau comprenant les plus mportants qu'on a rencontrés parmi ceux qui peuvent être reconnus par l'emploi des rayons X.



- Corps étrangers des voies respiratoires
  - Inorganiques
    - Pleins
      - Réguliers: Perles de verre. Aiguilles. Pièces de monnaie. Boutons. Balles.
      - Irréguliers: Pierres. Clous.
    - Creux. . . . .: Anneaux de verre. Tubes à trachéotomie. Sifflets. Embouchures. Tuyaux de pipe. Noyaux percés, etc.
  - Organiques
    - Pleins
      - Réguliers: Pilules. Pois.
      - Irréguliers: Fragments de noyaux. Dents. Os. Arêtes.
  - . . . .: Sangsues. Lombrics. Mouches. Hydatides. Huîtres. Poissons.

Les corps étrangers peuvent s'arrêter dans tous les points des voies respiratoires, mais ils ont aussi certains points d'élection où on a plus de chance de les retrouver que dans d'autres ; ainsi, on les rencontre bien plus souvent dans la bronche droite qu'ailleurs, dans le larynx que dans la trachée, quand on considère ceux qui ont une position fixe définitive ou temporaire.

A. — *Corps étrangers du larynx.*

Les accidents varient beaucoup suivant que les corps étrangers occupent les différents points du larynx. Un corps logé dans les ventricules peut être assez longtemps toléré ; au contraire, un corps placé sous l'ouverture de la glotte entraîne des accidents immédiats, quelquefois foudroyants.

Quelques-uns s'arrêtent au-dessous de la glotte, au niveau du cartilage cricoïde après avoir été mis en mouvement plus ou moins longtemps dans la trachée pendant l'inspiration et l'expiration.

B. — *Corps étrangers de la trachée.*

Leur siège est fort variable parce que la grande majorité de ceux qu'on y rencontre sont mobilisés par le courant d'air et par conséquent n'occupent pas de position fixe. Dans l'intervalle des accès ils peuvent prendre un point d'appui momentané dans la partie la plus déclive, en s'accolant à la paroi avec les mucosités spumeuses. Quant à ceux qui, par leur volume ou leur forme irrégulière, leurs aspérités (morceaux de viande, poisson, épingles, os), sont fixés dans la trachée, ils siègent partout où le hasard les arrête, sans qu'il y ait pour eux de lieu d'élection.

C. — *Corps étrangers des bronches.*

Dans les deux tiers des cas la pénétration a lieu dans la bronche droite, parce que le volume de celle-ci est supérieur à celui de la bronche gauche, différence qui tient à l'inégalité de l'importance fonctionnelle des deux poumons, puisque le gauche a un lobe de moins que le droit. Il faut ajouter à cette raison que l'éperon qui se trouve à la partie inférieure de la trachée au point de sa division en bronche est situé un peu à gauche de la ligne médiane. Il en résulte que, si quelque corps solide vient à descendre le long de la trachée en vertu des lois de la pesanteur, il se dirigera directement vers la bronche droite. En outre, l'appel d'air est plus intense du côté droit.

Le corps étranger engagé dans les bronches pénètre aussi avant que son volume et sa forme le lui permettent.

Les accidents que provoquent les corps étrangers des voies respiratoires sont très analogues à ceux qui accompagnent l'arrêt d'un corps étranger dans le pharynx et l'œsophage. Aussi peut-il en résulter une grande incertitude pour le médecin. L'accès de suffocation initial qui accompagne la pénétration du corps étranger comprend deux phénomènes qui se succèdent et peuvent se répéter un assez grand nombre de fois ; 1° l'irritation produite par le contact d'une substance étrangère avec la muqueuse trachéale ou laryngée ; et 2° les phénomènes réflexes dont l'ensemble constitue les moyens employés par la nature pour débarrasser l'économie d'un corps irritant susceptible de compromettre son existence. L'impor-

tance de cet accès varie avec la position du corps étranger, sa mobilité, sa grosseur, etc.

Pour le diagnostic l'emploi des rayons X peut rendre de très grands services étant données la facilité et la précision avec lesquelles on peut maintenant faire l'examen de la cage thoracique. Il n'est pas inutile cependant de signaler les symptômes accessoires qui peuvent aider à établir le diagnostic dans les cas difficiles.

Les renseignements fournis par les malades ou les parents, le début de l'accès de suffocation, qui est brusque, le malade devenant subitement cyanosé, noir, la répétition des quintes de toux, constituent des renseignements précieux. Il se produit généralement une douleur vive, que le malade rapporte en un point fixe des voies respiratoires ; la pression sur le point indiqué augmente la douleur; c'est un excellent signe qui permet de présumer la présence du corps étranger sans qu'il donne les indications suffisantes pour la détermination de sa position. Le malade peut percevoir le mouvement de va-et-vient du corps dans la trachée. La percussion et l'auscultation faites par le médecin peuvent confirmer les premiers renseignements donnés par le malade. Malgré cela, comme nous le signalions plus haut, le médecin peut être très embarrassé pour savoir si le corps étranger est dans l'œsophage ou dans les voies respiratoires, et c'est surtout pour la détermination de leur position que l'emploi des rayons X peut rendre des services.

Il a été publié déjà un assez grand nombre d'observations de corps étrangers du larynx dont la présence a été reconnue par l'emploi des rayons X. Il est inutile, pour cette recherche, d'employer une méthode spéciale, puisque la direction du conduit est connue : il suffit d'appliquer les règles ordinaires de la radioscopie et de la radiographie décrites au commencement de ce livre. Il faut avoir soin de faire varier la puissance de pénétration des rayons, surtout quand il s'agit de rechercher des corps peu opaques. Pour fixer les idées, nous donnerons deux observations récentes de M. le professeur Bergonié, de Bordeaux, qui sont intéressantes à deux points de vue : 1° par la nature des corps étrangers mis en évidence ; 2° par la méthode employée.

Obs. I. — Dans le premier cas, il s'agit d'un fragment de hochet en os que la radioscopie put facilement décéler dans le larynx d'un enfant de quatorze mois. L'opacité de l'ombre portée, les commémoratifs de l'accident, l'apparence du guillochage de l'objet vu sur l'écran radioscopique permirent de porter sur la nature du corps étranger un diagnostic certain. Quant à la position du corps étranger, fixé obliquement par rapport à l'axe de la trachée d'avant en arrière et un peu obliquement, elle fut assez nettement définie pour que l'extraction par le chirurgien devînt opération relativement facile.

Obs. II. — Dans le second cas, qui me fut adressé par mon ami le docteur Moure, les commémoratifs étaient les suivants : Enfant de trois ans à peu près, prise après le repas d'accès de suffocation, de tirage en inspiration et expiration permettant de faire, sans erreur possible, le diagnostic de corps étranger

des voies respiratoires. Une enquête minutieuse sur les aliments solides pouvant avoir pris cette fausse voie ne permet de retenir que la croûte du pain donnée à l'enfant ; tous les autres aliments, soupe, viande, crème, semblent ne pouvoir être incriminés. C'est donc avec mission de rechercher par la radioscopie une croûte de pain probable dans les voies respiratoires, d'en indiquer la place exacte et les dimensions si possible, que l'enfant me fut adressée.

J'avoue que je ne cachai pas tout d'abord l'improbabilité d'un résultat satisfaisant ; ce ne fut que contraint et forcé que je pratiquai l'examen demandé, tellement les chances d'apercevoir un corps étranger de cette nature me paraissaient faibles. Cependant accumulant toutes les conditions possibles de succès, voici comment je procédai : ayant pris un tube de Chabaud à osmorégulateur de Villard, je réglai le degré de vide de manière que les rayons X émanant de ce tube fussent arrêtés en partie par une croûte de pain de 5 à 6 millimètres d'épaisseur. Avec un courant inducteur faible : 5 ampères et 20 volts, la longueur d'étincelle équivalente de la résistance du tube oscillait entre 5 et 6 centimètres. L'interrupteur à mercure et moteur genre Lacroix donnait entre 18 et 20 interruptions par seconde (1.200 tours par minute). Bobine de Gaiffe, 35 centimètres d'étincelle.

L'enfant, particulièrement calme et inespérément docile, fut placée de profil devant la plaque d'aluminium, séparant la pièce où se fait l'examen de celle contenant le tube et tous les appareils, tels que bobine, interrupteur, etc., alimentant le tube. L'écran fluorescent était de petites dimensions.

Il n'y eut, contrairement à mon attente, aucune hésitation ; le larynx apparut barré d'une ombre oblique très nette se déplaçant comme un clapet à tous les mouvement d'inspiration et d'expiration.

L'ombre était beaucoup plus opaque que celle fournie par une croûte de pain, beaucoup moins que celle fournie par un fragment d'os. Je pus donc affirmer que le corps étranger existait, qu'il était placé très haut, presque immédiatement au-dessous des cordes vocales, que ce n'était pas une croûte de pain.

La trachéotomie faite le lendemain confirma entièrement ce diagnostic. Le corps étranger fut retiré facilement au moyen d'une curette, il était au-dessous des cordes vocales, c'était un fragment de sucre caramélisé et carbonisé à sa surface, provenant de la crème servie au repas de l'enfant.

§ 3. — **Corps étrangers des organes génito-urinaires.**

Les uns ont une origine chirurgicale ou thérapeutique, comme les sondes, les bougies, les fragments d'instruments, etc. ; d'autres, les plus nombreux, ont été accidentellement introduits dans les voies urinaires par des personnes qui les employaient comme moyen d'excitation génésique. Enfin, quelques-uns, le plus petit nombre, reconnaissent pour cause une aberration mentale, une manie de suicide, la malveillance, l'ivresse, etc. Ils sont plus communs chez les hommes que chez les femmes, parce que les affections des voies urinaires chez l'homme sont plus communes et plus multiples. De même, les besoins génésiques sont plus intenses chez l'homme que chez la femme et augmentent encore cette proportion. Nous donnons contre un tableau des corps étrangers qui ont été trouvés dans les

organes génito-urinaires de l'homme et qui peuvent être reconnus par les rayons X.

Corps étrangers des organes génito-urinaires de l'homme	Venus du dehors	Introduits par les voies naturelles	Origine thérapeutique	Sondes, débris de sondes (métalliques), fragments de brise-pierres, morceaux de nitrate d'argent, cuvette porte-caustique, pavillon de sonde anglaise en ivoire, goupille de voiture (0,009).
			Origine érotique	Aiguilles, épingles, plumes, porte-plumes, crayons, morceaux de baleine, épinglettes de soldat, canule à lavement, alène de cordonnier, tuyaux de pipe, boules de verre, boules de métal, morceaux de craie, manche de pinceau, bâtons de cire à cacheter, bague en cheveux avec plaque, épingle à cheveux de femme, fourchette de 4 pouces, cure-oreilles, branche de sapin, mèche de coton, fil d'archal, agrafes, cylindre d'albâtre, tube de verre, paille, petite clef, poinçon, étuis à aiguille, arêtes de poisson.
			Origines diverses ivresse, folie	Cailloux, chaîne de montre, anneau de cuivre, épingles.
		Introduits par des voies artificielles	Venus par effraction	Projectiles, etc.
			Venus par communication	Épingles, aiguilles, grains de raisin, noyaux de fruits, de prune, de pêche.
	. . . . . .		Formés dans l'économie	Dents, os, débris divers.

En raison des dimensions du canal de l'urètre, de son étroitesse et de sa longueur, il faut s'attendre à rencontrer surtout des corps étrangers allongés peu volumineux. C'est ce qui ressort précisément du tableau précédent. Les corps irréguliers s'arrêtent dans l'urètre, tandis que les autres, les fragments de sonde par exemple, conservent leur mobilité dans un sens ou dans l'autre.

Toutes les parties du canal de l'urètre peuvent être le siège de corps étrangers, et il ne semble pas qu'il y ait un lieu de prédilection en un point plutôt qu'en un autre. Le diagnostic par la palpation, toucher rectal et l'exploration du canal au moyen du cathétérisme, est ordinairement facile pour

l'urètre, et l'emploi des rayons X ne peut être invoqué que pour reconnaître leur forme exacte; il n'en est souvent plus de même lorsqu'il s'agit des corps étrangers de la vessie, que le corps étranger soit venu du dehors par le canal de l'urètre, par une plaie d'arme à feu ou encore par quelque communication anormale avec les organes voisins, ils en occupent presque tout le bas-fonds où ils tombent par leur propre poids, par la disposition même de l'organe. Il existe cependant des exceptions à cette règle, surtout pour les corps étrangers longs, irréguliers et pointus.

Les accidents primitifs causés par la présence des corps étrangers dans la vessie sont, le plus souvent, assez peu intenses; ce qui le prouve bien, c'est que, dès qu'ils ont quitté l'urètre où ils étaient la source de grandes douleurs et de troubles fonctionnels sérieux, les malades éprouvent un sentiment de soulagement très marqué : l'émission de l'urine se fait plus facilement qu'auparavant, et ils peuvent satisfaire leur besoin d'uriner sans appréhension de douleurs plus aiguës. Cependant, quand le corps est long et rigide, et présente des pointes et des aspérités, toutes les contractions des parois musculaires produisent des douleurs aiguës qui retentissent dans le bas-ventre et les reins. L'expulsion spontanée des corps étrangers de la vessie sans intervention est une terminaison rare, ce qui est dû à ce que la plupart sont longs, plus ou moins irréguliers et, partant, mal disposés pour enfiler la voie des urines. Les corps étrangers qui séjournent assez longtemps dans la vessie subissent un phénomène pathologique intéressant au point de vue de la radiologie. C'est la formation d'incrustations calculeuses qui se déposent insensiblement sur eux et donnent lieu à toute une série de symptômes presque de tous points identiques à ceux des calculs ordinaires. Il se produit ainsi des dépôts de matières terreuses, carbonates et phosphates, oxalates, urates, des sels alcalins ou alcalino-terreux.

Ce dépôt est progressif, quelquefois très rapide; un séjour de quarante-huit heures dans la vessie suffit pour produire déjà des traces manifestes de concrétions urinaires. Deux facteurs influent sur la rapidité de ce dépôt, sa cohésion, etc. : d'une part, la forme et la nature du corps; d'autre part, la composition de l'urine.

Un seul corps étranger peut donner naissance à des calculs multiples; il suffit pour cela que ce corps étranger se fragmente. Il en est ainsi pour les corps d'origine végétale, tiges de graminées, etc.

Aucune des matières étrangères qui peuvent être introduites dans la vessie n'est complètement à l'abri de l'incrustation vésicale, mais toutes n'y sont pas également prédisposées. Ainsi, d'une façon générale, les métaux inattaquables s'encroûtent moins facilement que les autres (or, argent). Au contraire, les métaux éminemment oxydables, comme le fer, les substances d'origine végétale, les fragments de bois, de sonde, les bougies sont promptement encroûtés; le verre est très rarement le siège de concrétions bien volumineuses, stables, et, dans les exemples cités par les auteurs, les tubes de

verre n'étaient jamais le noyau de calculs comme les porte-plumes ou les crayons.

Le diagnostic des corps étrangers de la vessie a pu être, dans un assez grand nombre de cas déjà publiés, considérablement facilité par l'emploi des rayons X, soit pour s'assurer de la présence du corps étranger, soit pour connaître sa nature. Les renseignements que le chirurgien peut recueillir en s'appuyant sur les commémoratifs, les signes subjectifs et les signes objectifs fournis par l'exploration sont souvent insuffisants. En effet, les commémoratifs peuvent être faussés pour diverses raisons, surtout quand le corps étranger est le résultat de manœuvres lubriques. Les symptômes subjectifs sont peu nombreux et peu caractéristiques, car ils indiquent simplement de la cystite.

Les symptômes objectifs résultant de l'exploration soit interne, soit externe, sont évidemment beaucoup plus utiles, mais souvent délicats à reconnaître, même par un praticien très exercé.

Remarque. — Nous croyons inutile de nous arrêter à l'étude des corps étrangers des organes génito-urinaires de la femme, parce que : 1° pour certains de ses organes, les moyens ordinaires d'exploration suffisent (urètre, vagin et même utérus) et 2° parce que, pour la vessie, nous nous trouvons exactement dans des conditions comparables à celles que nous avons trouvées chez l'homme. Tout au plus si la nature des corps étrangers à rechercher présente quelque différence et si leur volume est plus grand chez la femme que chez l'homme à cause du diamètre plus grand du canal de l'urètre chez la première.

DEUXIÈME SECTION

CORPS ÉTRANGERS AYANT PÉNÉTRÉ PAR EFFRACTION

Parmi les corps étrangers qui pénètrent par effraction dans le corps humain, nous devons citer en première ligne les projectiles pour arme à feu, balles de fusils de guerre, balles de revolver, grains de plomb de fusils de chasse, etc. Pour les armes de guerre, les revolvers de gros calibre, la force de pénétration est très grande, et on peut retrouver les projectiles dans toutes les parties du corps (crâne, thorax, membres, etc.). Souvent même, ils ne font que traverser le corps, et le rôle de la radiographie sera de rechercher les désordres osseux qu'ils ont pu produire.

Pour les balles de revolver de petit calibre, les grains de plomb des armes de chasse, la pénétration est généralement limitée à une faible profondeur, et on les retrouvera dans les tissus mous ou au contact du premier plan osseux qu'ils auront rencontré.

Nous pouvons rapprocher de cette première catégorie de corps étrangers les fragments métalliques projetés par les machines industrielles et qui peuvent pénétrer profondément dans l'intérieur du corps humain.

Nous citerons ensuite, par ordre de fréquence, les corps étrangers métalliques pointus et surtout les fragments d'aiguilles. Ici les conditions de pénétration sont tout à fait différentes. L'extrémité de l'aiguille faiblement poussée pénètre sous la peau et, grâce à un mouvement brusque, s'y brise. L'extrémité disparaît dans les tissus et ne peut plus être retrouvée. Les recherches infructueuses et surtout les contractions musculaires font progresser rapidement le corps pointu et lui permettent de gagner les régions profondes.

D'autres corps étrangers peuvent pénétrer par effraction : épines végétales, fragments de bois de toutes sortes, éclats de pierre, etc. Leur force de pénétration est plus faible, leurs rugosités plus grandes, de sorte que, généralement, ils peuvent être retirés sans l'intervention du radiographe.

Nous avons montré dans la partie technique qu'il était toujours possible de déterminer, d'une manière exacte, la position dans l'intérieur de l'organisme d'un corps étranger décelable par la radiographie. Le radiographe n'aura que l'embarras du choix de la méthode, et il devra, dans chaque cas, choisir une méthode dont la précision soit en rapport avec les difficultés du diagnostic. Pour les membres, des examens suivant certaines directions suffiront dans la plupart des cas. Pour le thorax, le crâne, il faudra employer les méthodes précises : soit la radiographie stéréoscopique complétée par la stéréométrie, soit les méthodes géométriques de Contremoulins, de Guilloz, de Massiot, etc., dont on trouvera la description dans la partie technique.

Il serait superflu d'insister sur l'importance de l'emploi des rayons X pour le diagnostic de cette catégorie de corps étrangers. Cette importance a été reconnue dès le début, ainsi que nous l'avons montré en citant quelques extraits du rapport de M. Gross au Congrès de Nancy en 1897. Les perfectionnements de la technique ont augmenté encore cette importance, et la chirurgie des corps étrangers en a été complètement bouleversée. Autrefois les chirurgiens se contentaient de faire une incision exploratrice, quand il s'agissait des membres, et un simple lavage de la plaie quand il s'agissait du thorax ou de la tête. On était obligé d'attendre que quelque symptôme fonctionnel net vînt mettre sur la voie de la position occupée par le corps étranger.

Les insuccès opératoires étaient constants. Actuellement, le chirurgien peut aller rechercher le corps étranger à coup sûr sans causer aucun délabrement inutile, et lorsqu'il y a insuccès, c'est parce qu'il y a eu une faute opératoire commise soit par la radiographie, soit par le chirurgien.

Cependant, malgré l'évidence de cette utilité des rayons X, des chirurgiens des hôpitaux continuent à essayer les incisions exploratrices sans recourir préalablement à un examen radiographique. Récemment encore, nous avons examiné une petite fille dans ces conditions. Or, la pointe d'aiguille recherchée inutilement se trouvait à 1 millimètre à peine de l'incision, immédiatement sous la peau. On pouvait, même en regardant avec attention, reconnaître sa présence à travers la peau, grâce à sa teinte noire. On ne

peut que regretter ces interventions chirurgicales non justifiées, douloureuses, ces délabrements inutiles de tissus, surtout quand ils ont lieu dans les hôpitaux à quelques mètres d'un service de radiographie.

TROISIÈME SECTION
CORPS ÉTRANGERS FORMÉS DANS L'ORGANISME

§ 1. — **Esquilles osseuses.**

Sous l'influence d'un traumatisme violent, des morceaux d'os plus ou moins gros, qu'on désigne sous le nom d'esquilles, peuvent être détachés. Il en est ainsi lorsqu'un corps étranger, par exemple une balle, vient frapper un os avec la grande vitesse que donnent nos armes modernes. La balle pourra ne faire que traverser une partie du corps, ne pas causer directement de dommages sérieux. Les vraies complications résulteront secondairement de la présence de ces esquilles osseuses. De même dans les fractures compliquées, la consolidation pourra être considérablement retardée par l'existence d'un grand nombre de fragments de petit volume placés tout autour de la fracture ; certains même de ces fragments pourront ne jamais participer à la consolidation et, après avoir déterminé l'inflammation, devenir de véritables sequestres. Il est presque inutile de dire que ces esquilles osseuses peuvent être parfaitement reconnues par un examen convenable aux rayons X, étant donné surtout que ces esquilles osseuses sont particulièrement fréquentes dans les membres. Leur recherche, dans les deux cas principaux que nous venons de signaler, sera donc particulièrement indiquée puisqu'elles risquent d'être la cause de la plupart des complications. Ceci vient ajouter encore à l'importance des rayons X dans l'étude des fractures et des corps étrangers. Il est d'autant plus utile d'y insister que beaucoup de chirurgiens ne se rendent pas encore compte de son importance. Il nous arrive constamment d'examiner des malades longtemps après le traumatisme, à une époque où la thérapeutique conservatrice ne peut plus guère avoir d'action, et d'avoir le regret de constater :

1° Pour les fractures, non seulement une mauvaise adaptation des fragments, quelquefois même un manque complet de consolidation, mais aussi des débris de toute sorte qui amènent facilement de la suppuration ;

2° A la suite des plaies par armes à feu en dehors du projectile lui-même, des lésions des os ayant amené la fragmentation. Ces faits méritent d'autant plus d'être relevés qu'ils se produisent encore dans les hôpitaux où il existe des installations pour les applications des rayons X.

§ 2. — **Corps étrangers des os.**

Nous signalerons d'abord les corps étrangers métalliques. L'histoire des corps étrangers des os n'est qu'un chapitre détaché de l'étude des blessures

par arme de guerre. Assez rarement, ce sont des extrémités de baïonnettes, de fer de lance, de pointes d'épée, de lames de couteau, qui sont restées implantées à la surface de l'os. Ces corps étrangers sont tantôt cassés au ras de l'os, tantôt au contraire ils font une saillie et offrent ainsi plus de prise aux instruments extracteurs.

Mais le plus souvent, ce sont des projectiles lancés par les armes à feu, balles, débris d'obus, etc., qui viennent s'implanter et se perdre dans l'épaisseur des os. Tous les os, même les plus minces, ont pu être atteints. Tantôt ils sont complètement fracturés, et la balle reste logée au milieu du foyer de la fracture, tantôt les projectiles ont respecté la continuité de l'os et se sont creusé une simple loge à sa surface ou dans son épaisseur. Il est bon d'ajouter qu'avec le projectile il existe souvent des débris de vêtements, de pièces d'équipement, etc. C'est surtout dans le tissu spongieux des os que le projectile peut ainsi s'enclaver, sans produire de fracture ou d'éclatement, et les musées militaires sont riches en pièces de ce genre. Tantôt c'est une côte, tantôt une vertèbre, ou bien l'extrémité supérieure du fémur ou de l'humérus, assez fréquemment l'os iliaque.

Mais le projectile, en arrivant à la surface de l'os, peut se diviser en un certain nombre de fragments, s'aplatir, se déformer d'après les modes les plus bizarres. Cet aplatissement et cette déformation peuvent même ne s'effectuer que dans la profondeur de l'os, alors que le projectile, n'ayant traversé que des parties spongieuses, va heurter sur une travée résistante de tissu compact. Le plus souvent, les diaphyses sont fracturées en plusieurs fragments et le projectile peut rester au milieu d'eux. De petits fragments de métal peuvent s'incruster sous le périoste et être englobés par le cal.

Dans d'autres cas, le projectile passe entre deux os voisins, les fracture, en les écartant l'un de l'autre, mais néanmoins peut rester enclavé d'une façon solide. Ce fait a été maintes fois observé pour les côtes, le tibia et le péroné, les deux os de l'avant-bras. On a pu également trouver un enclavement persistant entre la clavicule et la première côte.

Tantôt ces projectiles sont tolérés par le tissu osseux et ils peuvent s'enkyster dans une loge osseuse à paroi résistante.

Quand la balle n'a fait que s'implanter à la surface de l'os, elle y reste maintenue par des jetées ostéophytiques qui se font à son pourtour. Cette irritation périostique se manifeste souvent fort loin du point contus, et l'os prend l'aspect vermoulu et irrégulier, tout à fait caractéristique, qu'il revêt dans les inflammations sous périostées.

Tantôt, enfin, on trouve ces projectiles complètement englobés dans les éléments du cal.

Ces corps étrangers métalliques existant dans les os peuvent pendant longtemps ne pas entraîner de complications, mais fréquemment ils causent des poussées d'ostéite et d'ostéomyélite, qui entraînent de la suppuration et la nécrose de certaines parties d'os, c'est-à-dire la formation de séquestres. Ces séquestres, que l'on doit considérer comme des corps étrangers, sont

facilement reconnus par la radiographie ; en effet, la densité des tissus qui les composent est considérablement différente de celle des tissus voisins ; généralement cette densité est plus grande, bien que dans certains cas on puisse avoir de l'ostéite raréfiante et, par suite, diminution de la densité. De plus, le séquestre est ordinairement séparé du reste de l'os par des liquides généralement purulents, qui facilitent encore la distinction. Ces séquestres, que nous venons d'étudier comme conséquence des traumatismes par les armes à feu, se produisent aussi dans un grand nombre de maladies ayant amené une altération pathologique des os par ostéite et ostéomyélite. Ils sont souvent la cause du maintien de la suppuration, et le radiographe rendra de grands services au chirurgien en lui signalant leur existence.

§ 3. — **Corps étrangers articulaires.**

Les corps étrangers des articulations sont de différentes natures : les uns viennent du dehors, les autres naissent dans l'articulation elle-même ; les premiers consistent, par exemple, en balles de revolvers, aiguilles ou corps pointus quelconques, nous nous bornons à les signaler ; les seconds trouvent leur origine dans une lésion traumatique ou pathologique de la jointure. On les désigne encore sous les noms de *corps étrangers organiques* (Cruveilhier), de *corps mobiles ou flottants* (Nélaton), de cartilages mobiles (Velpeau), d'arthrophytes (Panas), etc.

On peut établir deux groupes essentiellement distincts : l'un de corps mobiles *sans structure*, l'autre de corps étrangers véritablement *organisés* et de structure variable ; parmi les premiers prennent place ces petites masses blanchâtres, d'aspect fibrineux, absolument analogues aux corps hordéiformes ou riziformes des synoviales tendineuses. Leur substance est tantôt homogène, tantôt formée de lamelles concentriques et parsemée de petits groupes de granulations ; leur volume est ordinairement petit, leur nombre considérable. Dans une autre variété, beaucoup plus exceptionnelle, le corps étranger est constitué par du sang, qui s'épanche dans l'épaisseur d'une frange synoviale.

De beaucoup plus nombreuses et importantes sont les productions du deuxième groupe, c'est-à-dire les corps organisés : nous les prendrons comme type de notre description.

Leur siège le plus habituel est l'articulation du genou ; plus rarement le coude, la hanche, l'épaule, le poignet, le cou-de-pied, le temporo-maxillaire et, enfin, les articulations métatarso-phalangiennes et métacarpo-phalangiennes. Ils sont tantôt complètement libres, tantôt rattachés à un point de l'article par un pédicule plus ou moins long et épais. On range enfin, à côté des corps mobiles, certaines productions sous-synoviales, qui font plus ou moins de saillie dans la cavité articulaire.

Libres ou pédiculés, les corps étrangers occupent parfois une sorte de loge, qui paraît comme creusée aux dépens du tissu osseux. Leur nombre

est très variable; parfois il n'en existe qu'un, ailleurs on en rencontre deux ou trois, ou un chiffre plus considérable encore.

Le volume est généralement en raison inverse du nombre; souvent les observateurs le comparent à celui d'un haricot ou d'une fève, il a atteint parfois et même dépassé celui de la rotule.

La forme est des plus diverses, certains sont irréguliers, plus ou moins lobulés; d'autres sont biconvexes; la plupart sont aplatis et d'une configuration plus ou moins ronde. On signale fréquemment sur l'une des faces une petite dépression analogue au hile d'un haricot.

Au point de vue de la structure, nous devons établir un certain nombre de variétés.

En laissant de côté quelques cas exceptionnels de sarcome des franges synoviales, on peut diviser les corps étrangers en fibreux, adipeux, cartilagineux ou ostéo-cartilagineux et osseux.

Les deux premières variétés sont les moins communes, un débris de synoviale arraché par un traumatisme peut constituer un corps étranger de structure purement conjonctive.

Les corps cartilagineux ou ostéo-cartilagineux sont les plus importants et les plus intéressants de tous : les uns sont libres, les autres sont appendus à la synoviale, le plus souvent au voisinage du cartilage diarthrodial. La plupart ont une structure fibro-cartilagineuse; ils sont enveloppés d'une sorte de périchondre d'où partent, en rayonnant dans l'épaisseur du cartilage, une série de trousseaux fibreux au voisinage du hile ou bien au centre des portions fibro-cartilagineuses; on rencontre souvent des masses osseuses.

Dans d'autres cas, les tissus osseux et cartilagineux sont disposés d'une autre manière; l'une des faces du corps étranger est convexe, lisse et composée de cartilage hyalin, l'autre est concave, rugueuse et formée de tissus osseux; cette dernière face est parfois recouverte d'une membrane fibreuse.

Les corps étrangers uniquement formés de tissus osseux ne sont pas rares, ils sont généralement ovoïdes, rattachés à la limite du cartilage diarthrodial par un pédicule fibreux et d'un volume variant de celui d'un pois à celui d'une noisette.

De dehors en dedans on y trouve une bande fibreuse, un anneau osseux, et enfin un centre offrant tous les caractères du tissu spongieux; ce pédicule renfermant des vaisseaux sanguins.

Les corps étrangers articulaires s'observent dans deux circonstances bien différentes. Dans un cas ils existent en grand nombre et ne sont qu'un épiphénomène d'une arthrite sèche caractérisée; il est alors peu habituel qu'il détermine des accidents, et le médecin radiographe aura peu souvent l'occasion de les rechercher.

Dans d'autres cas, ils occupent en petit nombre, ou solitaires, une jointure indemne jusque-là de toute lésion apparente ou de troubles fonctionnels quelconques, ils surviennent spécialement chez les adultes, de préférence chez des sujets jeunes, et chez les hommes. Ils se manifestent par des

phénomènes douloureux, une gêne apportée à la fonction du membre, et parfois enfin, du côté de la jointure, par tous les signes d'une réaction inflammatoire plus ou moins vive. L'examen aux rayons X, qui, dans le premier cas, avait souvent un simple intérêt de curiosité, présente ici une grande importance parce qu'il permet de distinguer cette réaction inflammatoire de l'arthrite simple et d'en donner la cause. Cet examen radiographique est encore augmenté par ce fait que les articulations où on les rencontre le plus fréquemment sont les genoux et le coude, dont les plus petites particularités ne peuvent échapper au médecin radiographe quelque peu expérimenté. C'est par conséquent à la radiographie qu'il faudra toujours demander l'explication d'une arthrite persistante procurant surtout de la douleur par le mouvement et dont la cause ne sera pas nettement indiquée.

§ 4. — Calculs.

Les radiographes se sont préoccupés beaucoup du diagnostic des calculs existant soit dans les voies biliaires et intestinales, soit dans les voies urinaires. Cette recherche était importante parce que les calculs par leur présence causent des complications très graves et que les moyens de diagnostic déjà connus étaient généralement insuffisants. On s'est attaché, d'abord, à étudier les calculs séparés de l'organisme. Cette étude peut être faite sans compromettre l'intégrité des calculs. Elle a montré que la radiographie permet de reconnaître leur homogénéité et leur structure, leur composition chimique dans certains cas, la position exacte du noyau qui a provoqué leur formation, et souvent la nature de ce noyau. Ces premières expériences ont montré l'importance de la nature de la substance qui constitue les calculs.

Les calculs biliaires, surtout ceux qui sont formés principalement de cholestérine, sont les moins opaques; puis viennent les calculs d'acide urique et d'urates, qui donnent des taches plus foncées ; et enfin ceux qui sont formés de sels calcaires, carbonates, phosphates et surtout oxalates de chaux. Ces expériences simples font prévoir les résultats de la recherche des mêmes calculs placés dans l'organisme. Il est évident que les calculs biliaires formés presque uniquement de cholestérine seront difficilement mis en évidence, tandis que les calculs des voies urinaires qui sont formés de sels calcaires seront les plus facilement saisissables. Ces conclusions ont été confirmées par les nombreuses observations cliniques qui ont été déjà publiées et par des expériences directes sur les cadavres, dans lesquels on avait introduit des calculs à leur place respective. Les résultats sur les cadavres ont été beaucoup plus concluants que sur les vivants, car presque toutes les régions examinées sont mobiles, ce qui enlève beaucoup de netteté aux clichés obtenus. Cependant les résultats déjà obtenus sur le vivant sont des plus encourageants et ont permis dans de nombreux cas de confirmer des diagnostics douteux pour le plus grand bien des malades. Pour ces

recherches, la technique employée a une énorme importance. Il faudra ordinairement employer les tubes mous, connaître bien exactement la longueur d'étincelle équivalente, faire des poses courtes.

En un mot, l'expérience de l'opérateur sera ici un grand facteur de réussite. Les clichés devront être interprétés avec une grande prudence. Il sera bon de confirmer un résultat positif par une deuxième expérience faite dans les mêmes conditions, et un résultat négatif ne devra pas être considéré comme une preuve suffisante de la non-existence du calcul recherché.

A. — Calculs du rein.

Ils sont constitués par des dépôts des sels de l'urine dans le bassinet ou dans le parenchyme rénal sous forme de gravier. Ces dépôts peuvent être primitifs, et ils provoquent ultérieurement des lésions rénales, ou être secondaires, et la précipitation des sels de l'urine est alors la conséquence d'une infection du rein, du bassinet ou de l'urine comme dans la bactériurie. Tant que les dépôts urinaires sont de petit volume, ils traversent l'uretère sous forme de sables ou de graviers ; quand leur volume est trop considérable pour leur permettre de sortir, ils deviennent des calculs du rein.

Quand les calculs sont petits (comme une lentille), on peut en trouver un très grand nombre, jusqu'à 200. Au fur et à mesure qu'ils deviennent plus volumineux, leur nombre diminue jusqu'à devenir unique. Dans ce dernier cas, ils remplissent tout le bassinet et peuvent peser plusieurs kilogrammes. Les calculs petits ou de grosseur moyenne sont de formes très variables. Les calculs volumineux sont formés de branchements rameux donnant un moule assez exact du bassinet et des calices.

Leur coloration est très variable et dépend de leur composition chimique. Les calculs primitifs peuvent être composés :

D'*acide urique ou d'urates*, ils sont alors généralement rouges ou fauves, très durs, lisses ou grenus ;

De *phosphates et carbonates alcalino-terreux*. Ils sont alors blanc gris, plus ou moins foncés, très friables et très légers ;

D'*oxalates* généralement de teinte brune.

On y trouve souvent des matières organiques colorantes qui ne présentent pas d'intérêt au point de vue du diagnostic des calculs par les rayons X.

Les calculs secondaires, c'est-à-dire ceux qui se déposent consécutivement à une affection du rein, contiennent des phosphates, de l'ammoniaque et de la magnésie.

Les calculs peuvent être formés d'une substance unique, mais, le plus souvent, on y remarque des couches successives de diverses substances et qui leur donnent un aspect nettement concentrique d'autant plus visible que chaque couche possède une coloration spéciale.

Le noyau des calculs peut être formé d'une substance absolument quelconque, caillot sanguin, microbe, débris organique quelconque.

Les calculs peuvent se trouver en même temps dans les deux reins, et cela dans la proportion énorme de 50 p. 100, ce qui s'explique facilement si on réfléchit que c'est la même cause générale qui intervient.

On rencontre les calculs le plus fréquemment aux deux âges extrêmes de la vie, dans l'enfance et dans la deuxième période de l'âge adulte. Le diagnostic des calculs du rein par les rayons X n'est pas toujours facile ; il n'est donc pas inutile de signaler en passant les symptômes principaux qui résultent de la présence de ces calculs dans le rein, parce qu'ils aideront, dans les cas douteux, le médecin radiographe à établir son diagnostic. On les rencontre généralement chez les hommes arthritiques ou goutteux, qui ont présenté des coliques néphrétiques et qui signalent une douleur continue et paroxystique dans l'une des fosses lombaires et de l'hématurie. La pression sur la région rénale provoque cette douleur, dont l'intensité est variable.

On a publié déjà de nombreux cas de calculs rénaux décelés par la radiographie, tandis que les moyens cliniques étaient insuffisants. Il ne faut pas oublier que ses résultats sont inconstants. Nous en connaissons les causes. Le peu de volume des calculs par rapport à l'épaisseur du ventre est déjà une première difficulté. Il est évident que ces calculs seront plus faciles à reconnaître chez les personnes maigres que chez les personnes grasses. La nature des substances constituant le calcul peut aussi être une difficulté ; nous savons que les calculs d'acide urique sont peu opaques, tandis que l'opacité augmente lorsqu'ils sont formés de sels alcalino-terreux, urates, phosphates et surtout oxalates. Il sera donc indispensable, si on a un résultat négatif, de recommencer l'opération en variant les conditions expérimentales : longueur d'étincelle, durée de l'exposition, dureté du tube, etc. Un insuccès ne pourra pas nécessairement entraîner la conclusion qu'il n'existe pas de calculs. Inversement, un résultat positif devra être souvent confirmé par une deuxième expérience, afin d'éviter des erreurs résultant de la présence de taches dans le cliché. Ces restrictions ne signifient pas que les rayons X ne peuvent pas rendre de grands services dans la recherche des calculs rénaux. Elles ont au contraire pour but d'éviter que, par des conclusions trop hâtives, les radiographes ne déconsidèrent pas cette précieuse méthode. Elles nous amènent à adopter cette règle. La radiographie doit être toujours appliquée pour le diagnostic des calculs rénaux lorsque les symptômes sont insuffisants, mais l'interprétation du cliché doit être faite avec beaucoup de prudence.

B. — Calculs de l'uretère.

Les calculs du rein dans leur marche peuvent s'arrêter dans l'uretère, soit à cause de leur volume, soit à cause de leur rugosité. On les trouve le

plus communément aux trois points suivants : 1° à l'embouchure de l'uretère dans le bassinet ; 2° à la portion intra-vésicale de l'uretère ; 3° au tiers moyen du conduit, au niveau de l'insertion sacro-vertébrale. Ils peuvent d'ailleurs continuer à augmenter de volume grâce à des dépôts secondaires après avoir quitté le rein.

Les accidents que causent les calculs de l'uretère sont analogues à ceux que nous avons indiqués pour le rein. Ce sont les douleurs, la colique néphrétique, l'anurie ou l'hématurie.

C. — *Calculs vésicaux.*

Les calculs vésicaux sont dus à deux causes différentes :

1° La cause générale (arthritisme) qui détermine un dépôt calcaire en un point quelconque des conduits urinaires.

2° Des influences locales président à la localisation de ces dépôts dans la vessie (cystite, stagnation urinaire). Il en résulte, par conséquent, des calculs primitifs formés sans lésion apparente des voies urinaires et des calculs secondaires liés à un état infectieux de la vessie. Les premiers sont formés d'acide urique, d'acide oxalique, etc. Les seconds sont composés de phosphates ou de carbonates de chaux, de magnésie ou d'ammoniaque. Cet état inflammatoire, susceptible de déterminer la précipitation des phosphates, agira plus efficacement encore autour d'une concrétion descendue du rein ou d'un corps étranger quelconque existant dans la vessie. Il en résultera des couches blanchâtres plus ou moins épaisses, composées de phosphates.

Chez les enfants, il n'y a généralement qu'un seul calcul. Chez les adultes, leur nombre est en raison inverse de leur volume, le nombre peut s'élever jusqu'à 500 et le volume jusqu'à celui d'une orange. Le poids moyen est de 20 à 40 grammes.

Leur forme est généralement assez régulière : sphérique ou ovoïde; leur surface est lisse et légèrement rugueuse ou, dans d'autres cas, mamelonnée.

Sur une coupe, on aperçoit au centre un noyau, et le reste de la concrétion paraît dû à des dépôts stratifiés, dont la composition et par suite la densité et la couleur varient.

Les calculs sont généralement libres dans la vessie et en occupent le bas-fond.

Les seuls symptômes pathognomoniques d'un calcul vésical sont la constatation d'un calcul au centre du bassin sur l'épreuve radiographique, ou la sensation du choc produit par le corps étranger sur le bec de l'instrument métallique introduit dans la vessie. Les signes fonctionnels qui aident au diagnostic sont la douleur, la fréquence des mictions et l'hématurie.

Les remarques que nous avons faites au sujet de l'emploi de la radiographie pour le diagnostic des calculs rénaux s'appliquent aussi aux calculs vésicaux, mais avec moins de force. Les calculs vésicaux sont généralement plus gros que les calculs rénaux, plus chargés de matières calcaires

et, par conséquent, plus faciles à déceler. Aussi le nombre de cas déjà publiés est-il plus considérable que pour le rein. Les chances d'insuccès sont moins grandes. En outre, les rayons X ont sur toute autre méthode l'avantage de donner l'idée des dimensions du calcul, en évitant l'introduction d'un instrument quelconque dans la vessie et en supprimant ainsi toute chance d'infection. Par conséquent, toutes les fois que le calcul pourra être mis en évidence, la radiographie représentera l'agent d'exploration idéal.

Bien que les calculs d'urates et d'oxalates soient plus faciles à mettre en évidence que les calculs de phosphates, ces derniers peuvent être cependant reconnus lorsque les circonstances sont favorables, ainsi que le montre une observation récente de M. le professeur Bergonié, de Bordeaux : un calcul vésical phosphatique reconnu chez un enfant de quinze ans et demi.

D. — Calculs biliaires.

La lithiase biliaire doit être rattachée comme la lithiase urinaire aux maladies par ralentissement de la nutrition. Les calculs peuvent se former partout où la stagnation biliaire est possible (vésicule, gros canaux biliaires, tissus même du foie). Les calculs continuant à se développer dans la vésicule biliaire y acquièrent un volume beaucoup plus considérable que dans les autres parties. Leur composition chimique les rend difficiles à distinguer par les rayons X. En effet, la cholestérine qui en forme la plus grande partie est une substance hydrocarbonée facilement traversée par les rayons X. En dehors de la cholestérine, on y trouve les sels normaux de l'urine et surtout les pigments biliaires, qui augmentent un peu l'opacité de la masse. Il n'en est pas moins vrai que leur diagnostic est toujours difficile, et l'interprétation des clichés exigera beaucoup de prudence de la part du médecin radiographe.

Le nombre des calculs, leur grosseur varient considérablement, la vésicule biliaire peut être remplie, même fortement distendue par eux. Ce n'est guère que dans ce dernier cas que l'on pourra reconnaître facilement leur présence.

Ces calculs biliaires arrivant dans l'intestin peuvent continuer à s'accroître par le dépôt, à leur surface, des diverses matières qui y sont contenues, et principalement par les phosphate et carbonate de chaux. Ils forment ainsi des masses beaucoup plus faciles à déceler que les calculs biliaires primitifs.

La présence des calculs biliaires est surtout indiquée par les accidents locaux douloureux et les troubles généraux réflexes, dont l'ensemble constitue la colique hépatique. Les complications sont surtout dues à l'infection de la bile primitivement aseptique. Le diagnostic des calculs biliaires par la radiographie sur les adultes vivants est encore à l'étude. Des résultats positifs ont été publiés, les calculs se présentaient sous la forme de tache blanche sur le fond noir de la vésicule biliaire. Dans un plus grand nombre de cas encore, on a eu des insuccès. Il est certain qu'on devra prendre pour les

reconnaître des précautions très grandes, éloigner fortement le tube producteur de rayons X jusqu'à 70, 80 et même 90 centimètres de la plaque sensible, employer ordinairement des tubes marchant sous une faible longueur d'étincelle, faire au besoin plusieurs essais en employant des durées de pose de plus en plus grandes.

E. — Calculs intestinaux.

Sous ce nom, on doit désigner les corps étrangers de l'intestin qui se sont formés sur place. Leur origine présente une grande diversité. Ce sont tantôt des masses alimentaires plus ou moins dures, qui s'agglomèrent et forment des masses souvent très volumineuses, qui s'imprègnent petit à petit des sels calcaires. D'autres fois, le dépôt de matières organiques ou minérales se fait sur des corps étrangers venus des parties supérieures du tube digestif. Dans d'autres cas, enfin, ce sont des calculs biliaires qui forment l'amorce du calcul intestinal. Leur volume total peut être quelquefois considérable, et leur recherche par les rayons X est tout à fait rationnelle. Il est vrai que la tolérance de l'intestin pour le corps étranger est telle que cette recherche ne sera demandée que dans certains cas particuliers. La plupart du temps l'occlusion intestinale sera la manifestation la plus nette de leur existence.

Il est évident que l'opacité des ombres que ces calculs marqueront sur les clichés sera excessivement variable et dépendra uniquement de leur composition chimique. Il est impossible de poser des règles précises à cet égard.

Les remarques que nous avons faites précédemment sur la marche des corps étrangers dans l'intestin et les points où ils s'arrêtent le plus fréquemment, s'appliquent avec plus de raison encore aux masses intestinales plus ou moins calcifiées qui constituent les calculs intestinaux.

Les calculs intestinaux n'ont guère appelé encore l'attention des radiographes. Cette recherche n'est cependant ni inutile, ni impossible. Elle n'est pas inutile, parce que dans beaucoup de cas le chirurgien est fortement embarrassé pour expliquer la cause de douleurs intestinales violentes, ou une obstruction plus ou moins complète. Elle n'est pas impossible parce qu'on sait déjà qu'on peut reconnaître l'état de vacuité ou de pléthore du gros intestin, et ces masses intestinales calculeuses, d'origines diverses, mais toujours chargées de matières calcaires, doivent avoir une opacité radiographique autrement considérable que celle du contenu ordinaire de l'intestin. Il y a là tout un champ de recherches nouvelles, qui seront certainement faites dans un avenir prochain.

Docteur Marie,
Chargé de Cours à la Faculté de médecine de Toulouse.



II. — SYSTÈME OSSEUX ET ARTICULATIONS

CHAPITRE PREMIER

GÉNÉRALITÉS SUR LES CARACTÈRES NORMAUX ET PATHOLOGIQUES DU SYSTÈME OSSEUX

C'est la pathologie du système osseux qui a tout d'abord et dans la plus large mesure bénéficié de la découverte des rayons X, et la raison en est facile à indiquer.

Grâce à leur constitution fortement minérale, les os absorbent une proportion des rayons X incidents très notablement supérieure, sauf dans quelques circonstances pathologiques particulières, à celle qui est arrêtée par les tissus environnants, et leurs ombres, qui se détachent nettement sur le cliché radiographique, sont d'une exploration facile, même sur des épreuves médiocres, qui peuvent ainsi être parfois suffisantes.

Les divers cas dans lesquels il peut être utile d'avoir recours au procédé d'exploration radiographique du squelette sont, d'ailleurs, directement en rapport avec la nature des renseignements divers que peut fournir l'examen d'un cliché ; en outre ces renseignements pourront être d'autant plus précis et, le cas échéant, d'autant plus nombreux que le cliché aura été pris dans des conditions plus judicieusement déterminées et plus exactement définies, ou encore qu'il sera meilleur, c'est-à-dire qu'il présentera une plus parfaite netteté, une plus grande finesse de détails, une opposition plus accusée.

Il a d'ailleurs été indiqué, dans des chapitres précédents, les conditions dépendant soit du malade, soit de l'outillage, grâce auxquelles ces diverses qualités pourront être réalisées.

Les renseignements que peuvent fournir les clichés radiographiques, en ce qui concerne les os, sont relatifs à leur situation réciproque, à leur direction, à leur dimension, à leur forme, à leur développement, à leur intégrité, soit comme continuité, soit comme constitution.

Les *contours osseux* se détachent en général avec une absolue netteté sur une bonne épreuve telle que l'on peut en obtenir couramment aujourd'hui. C'est là une conséquence immédiate de la différence très grande déjà signalée entre le coefficient d'absorption de l'os d'une part, et ceux des tissus environnants de l'autre. Les bords des ombres des os longs présentent surtout une opacité remarquable ; c'est qu'en effet, dans cette région, les rayons X ayant dû traverser, avant d'arriver à la plaque sensible, une épaisseur plus grande de tissu osseux compact et opaque, l'ombre de ces bords se distingue très nettement de celle des régions voisines notablement moins absorbantes. La partie centrale de l'ombre osseuse totale correspond d'autre part à des régions de la plaque où arrivent des rayons ayant traversé soit la cavité du canal médullaire, soit, vers les épiphyses, le tissu spongieux, dont l'épaisseur plus grande ne compense pas, par suite d'une opacité moindre, la diminution d'épaisseur du tissu compact interposé à ce niveau ; aussi le canal médullaire des os longs apparaît-il nettement sur les clichés, dans la région diaphysaire, avec l'aspect d'une traînée un peu sombre plus ou moins bien limitée sur ses bords.

Les particularités que nous venons de décrire font que l'on peut facilement, sur un bon cliché, suivre les bords voisins de deux os, partiellement superposés par rapport à la direction des rayons X, dans la région commune à leurs ombres radiographiques. C'est là, par exemple, ce qui arrive pour le cubitus et le radius, le tibia et le péroné, les os du carpe et du tarse, etc., etc. On doit de même sur un bon cliché radiographique pouvoir reconnaître des particularités de forme dont les silhouettes se projettent à l'intérieur de l'ombre générale osseuse, ce qui est le cas pour les extrémités inférieures de l'humérus et du fémur, les apophyses épineuses des corps vertébraux, l'épine de l'omoplate, etc., etc.

Le *tissu spongieux* des os longs, comme celui des os courts, apparaît sur les bons clichés sous forme de fines traînées opaques qui révèlent la structure interne de l'os radiographié. Mais, ici, la condition d'immobilité du sujet est en quelque sorte absolue ; comme il s'agit, en effet, de détails minimes et multiples, le moindre déplacement pendant la pose engendre, dans ces traînées opaques qui révèlent l'architecture interne, un flou et un enchevêtrement où toute netteté disparaît. La structure interne ainsi révélée est d'ailleurs relative aux couches osseuses les plus voisines de la plaque, et les épreuves seront en général d'autant plus instructives, toutes choses égales d'ailleurs, que la source des rayons X sera placée plus loin et que l'os à radiographier sera situé plus près de la plaque et sera entouré d'une moins grande épaisseur de tissus dont l'opacité générale uniforme s'étendrait sur l'ombre osseuse pour en atténuer ou en faire disparaître les détails. Il est facile, par exemple, d'obtenir les détails si caractéristiques de la structure interne du calcanéum, tandis qu'un semblable résultat est difficilement réalisable pour l'extrémité supérieure du fémur. Nous avons pu cependant sur un adulte faire apparaître les détails de l'architecture intime de la tête et du

grand trochanter de cet os, en employant un tube mou placé à 50 centimètres et prolongeant un peu la pose.

Généralement d'ailleurs, on n'obtient pas les mêmes détails de *structure interne* pour les os plats : os du crâne, omoplate, os iliaque, et l'on en découvre facilement les raisons, dues soit à la superposition de plans osseux multiples, soit à l'épaisseur des tissus interposés, soit encore à l'éloignement de l'os par rapport à la plaque sensible.

Le *cartilage* n'a pas une transparence sensiblement différente de celle des divers tissus de l'organisme autres que le tissu osseux. Il résulte de là que, chaque fois qu'il sera possible de placer le tube à rayons X dans une position telle que quelques-uns de ces rayons puissent traverser la cavité articulaire sans rencontrer les os, cette cavité pourra se montrer en radiographie comme ouverte et apparaître sur le cliché sous l'aspect d'une région sombre limitée seulement par les ombres des surfaces osseuses en regard, abstraction faite des cartilages dont ces surfaces sont revêtues. Cette condition n'est d'ailleurs pas toujours réalisable, par suite de la forme même de l'articulation ; souvent elle n'est pas réalisée dans la pratique pour des articulations qui s'y prêteraient, en raison de la position où on aura cru devoir placer l'ampoule. La cavité articulaire est dessinée alors sur le cliché par une traînée moins claire qui traverse les ombres, en parties superposées, des os qui s'articulent à ce niveau. L'articulation du genou, par exemple, peut se présenter indifféremment sous chacun de ces deux aspects, suivant la position de l'ampoule par rapport à la cavité articulaire ; les contours de la tête de l'humérus, par contre, dans les conditions où on la radiographie en général, se superposent plus ou moins à l'ombre qui correspond à la cavité glénoïde, mais peuvent cependant être assez sûrement suivis pour qu'il soit possible de reconnaître une fracture ou une luxation ; enfin, dans la radiographie en position sagittale interne ou externe de l'articulation tibio-tarsienne et dans la radiographie prise dans une incidence quelconque de l'articulation coxo-fémorale par exemple, il est impossible d'éviter la superposition partielle des ombres des surfaces articulaires, mais on peut néanmoins, grâce à des différences de transparence, suivre sur le cliché les contours de ces surfaces.

On conçoit, d'ailleurs, facilement que les limites de l'ombre d'une cavité articulaire seront plus ou moins nettes suivant la forme même de l'articulation ; à ce point de vue, des différences considérables existent entre une articulation géométrique simple, telle que l'articulation scapulo-humérale ou du genou, et les articulations à surfaces irrégulières, telles que les articulations carpo-carpiennes ou tarso-tarsiennes.

Il résulte encore de la transparence du cartilage que les points d'ossification d'un os pourront apparaître sur une radiographie, si l'incidence est convenable, comme isolés, comme indépendants des parties déjà ossifiées auxquelles ils ne sont reliés que par du tissu cartilagineux, que les épiphyses des os longs pourront en particulier paraître comme séparées des diaphyses par un espace sombre, une véritable solution de continuité plus ou moins

grande, tant que la soudure osseuse des deux parties ne sera pas commencée.

Des indications générales que nous venons de donner, relativement à l'aspect de l'ombre des os, on tire sans peine l'énumération des divers cas dans lesquels la radiographie du squelette peut être utile, ainsi que la nature des renseignements cliniques que le mode d'exploration par les rayons X est capable de fournir.

Toute *fracture*, c'est-à-dire toute solution de continuité osseuse sera révélée par une traînée plus sombre, qui correspondra au trait de fracture ; le déplacement, l'engrainement, le chevauchement, la déviation angulaire des fragments seront facilement reconnus et leurs valeurs pourront être déduites de la comparaison d'épreuves multiples prises dans des conditions expérimentales bien déterminées. De simples fissures seront encore nettement perceptibles sur de bonnes épreuves ; on pourra également diagnostiquer l'absence ou la présence d'esquilles, et, dans ce dernier cas, leur nombre, leurs dimensions, leur forme et leur situation. Il sera de même facile d'apprécier les résultats obtenus par la réduction d'une fracture, comme aussi de suivre les progrès de la consolidation osseuse et de déterminer la forme définitive du cal et les conséquences mécaniques fâcheuses qui peuvent en résulter. On sait, par une discussion récente à laquelle ont pris part les représentants les plus autorisés de la chirurgie française, combien sont souvent illusoires dans leurs effets les manœuvres les plus intenses par lesquelles on essaie de réduire les fractures, et l'on verra plus loin quelles profondes et radicales modifications M. Tuffier propose, en s'appuyant sur la révélation radiographique, d'introduire dans le mode opératoire du traitement des membres fracturés. Cette discussion a, d'autre part, montré à la fois la puérilité des arguments auxquels sont obligés d'avoir recours les quelques rares détracteurs de la radiographie et les fautes grossières de technique commises par ceux qui regardent le mode d'exploration par les rayons X comme insuffisant dans des cas où une bonne épreuve aurait décelé en toute évidence une fracture existante.

Les *luxations* et même les *subluxations* seront encore facilement reconnues si l'on peut prendre deux épreuves de la région dans deux plans perpendiculaires entre eux, et surtout si l'on prépare des épreuves stéréoscopiques. Il en sera de même pour les *ankyloses*.

L'*augmentation de volume* des os pourra également se déduire de l'examen d'épreuves radiographiques prises dans des conditions bien déterminées. Les déductions à tirer de ces épreuves seront d'ailleurs facilitées chaque fois que l'on pourra comparer le côté suspect avec le côté correspondant resté normal ; il faut toutefois tenir compte, pour cette comparaison, de l'augmentation possible de volume des tissus environnants, augmentation de volume qui, en maintenant l'os que l'on suppose atteint plus éloigné de la plaque que l'os normal, aura pour conséquence de faire obtenir pour le premier une ombre plus agrandie que pour le second.

Les *altérations osseuses* sont encore, en général, révélées par la radiographie, et les circonstances sont nombreuses dans lesquelles les renseigne-

ments de cette nature sont précieux. Il en sera évidemment ainsi, en particulier dans les cas de maladies du système osseux; mais l'exploration, à ce point de vue des membres fracturés, fournit aussi aux chirurgiens un supplément utile d'information. Certaines fractures, en effet, s'accompagnent d'une atrophie, d'une augmentation de transparence osseuse qui peut s'étendre jusqu'à des os que la fracture n'a cependant pas intéressés. Depuis longtemps, nous avons, comme bien d'autres ont pu le faire également, observé de tels faits, et Sudeck les a spécialement signalés dans un récent article (1). Mais il importe d'ajouter que, si un cliché se présente avec des apparences normales quant aux ombres osseuses, on ne peut pas toujours sûrement conclure à l'intégrité absolue des os correspondants. Une altération osseuse se traduit en effet sur le cliché par des altérations de transparence, et l'on conçoit a priori que, pour que celles-ci soient perceptibles, il faut que celle-là ait eu déjà des effets assez intenses pour modifier notablement l'absorption des rayons X. La sensibilité de la méthode radiographique d'exploration n'a pas encore été exactement appréciée, à ce point de vue, pour les divers processus pathologiques qui, suivant leur nature et leurs effets sur la constitution de l'os, pourront peut-être aussi être l'objet d'un diagnostic plus ou moins précoce. L'appréciation de la transparence osseuse d'une région suspecte sera d'ailleurs grandement facilitée, en général, par la comparaison avec la transparence normale de la région saine correspondante ; aussi regardons-nous comme indispensable, dans ce cas, de radiographier les deux régions symétriques du corps dans des conditions d'expérience aussi identiques que possible et, par suite, sur la même plaque et en une même pose, toutes les fois que la chose sera possible. Mais il n'est pas au pouvoir du radiographe de réaliser complètement et toujours l'identité des conditions d'expérience pour les deux régions dont les ombres radiographiques doivent être comparées. La région malade peut, par exemple, présenter, comme nous l'avons déjà fait remarquer tout à l'heure à propos de l'interprétation des dimensions des ombres de deux os, un gonflement considérable qui, en augmentant l'épaisseur des tissus traversés et par suite la proportion de rayons X absorbés, pourra rendre toute tentative de comparaison illusoire. S'il est en effet, dans une certaine mesure, possible, par quelque artifice de technique, de placer encore, même dans le cas que nous venons de considérer, les os des régions correspondantes à la même distance de la plaque, on ne connaît actuellement aucun moyen pour égaliser la transparence des tissus mous qui environnent les os et dont les effets inégaux s'ajouteront, pendant la pose, aux effets égaux ou inégaux de la partie incluse du squelette à explorer.

D'ailleurs, même dans le cas simple où n'existerait aucune des conditions défectueuses auxquelles il vient d'être fait allusion, un os peut apparaître radiographiquement sain sur un cliché de netteté parfaite, alors que d'autres

(1) Sudeck, *Fortschritte auf dem Gebiete der Rœntgenstrahlen*, juin 1902.

signes cliniques, en particulier la douleur, peuvent déterminer à une intervention chirurgicale reconnue ensuite utile et efficace. Nous avons même eu, à ce point de vue, l'occasion de radiographier un humérus, isolé des parties molles, qui avait subi des altérations de consistance assez profondes pour être le siège d'une fracture spontanée ; le cliché, quoique très bon et quoique reproduisant de minimes détails de la structure osseuse, ne révélait cependant pas de modification appréciable de la transparence.

Mais s'il est des cas de maladies osseuses dans lesquelles les radiographies ne peuvent encore aider à préciser un diagnostic, il en est heureusement d'autres, dès maintenant les plus nombreuses, comme cela résultera des notions données dans les chapitres suivants, pour lesquelles les rayons X sont capables de fixer sur la plaque sensible le siège, l'étendue précise, et même, dans une certaine mesure, la nature des lésions, que ces lésions se traduisent, d'ailleurs, par des différences de transparence plus ou moins étendues et plus ou moins bien limitées, qu'elles siègent au niveau même de l'articulation ou sur le corps de l'os, que la netteté des contours, la forme et le volume de l'os soient conservés ou altérés, etc., etc.

Le *rachitisme* a fourni, d'autre part, des observations de modifications typiques de transparence osseuse. On peut, en outre, sur des épreuves radiographiques, suivre la *régénération osseuse* par le périoste conservé, l'*évolution de l'ossification* chez les enfants, en fixer les caractères physiologiques ou anormaux, reconnaître la fin de la *croissance* et peut-être même prévoir à l'avance, avec quelque certitude, l'époque où, les disques épiphysaires s'étant peu à peu soudés à la diaphyse des os longs, la taille aura acquis sa valeur définitive, qu'il semble possible de déterminer à l'avance avec quelque approximation par la comparaison d'épreuves successives ; on peut encore, en se basant sur l'existence ou sur l'absence de certains points d'ossification, évaluer l'*âge* d'un fœtus.

D'autre part, en outre, des méthodes particulières ont été imaginées qui permettent de déterminer sur le cliché les *dimensions des divers diamètres* et *la forme générale du bassin*, de prévoir dès lors les difficultés mécaniques qu'auront à surmonter les efforts expulsifs d'une parturiante et d'après lesquelles l'accoucheur pourra décider à l'avance de l'époque et de la nature de son intervention

Quelques points de la *physiologie des mouvements*, en ce qui concerne la participation du squelette, ont également été étudiés au moyen de la radiographie, voire même de la cinématoradiographie, et il nous paraît inutile d'insister sur les avantages d'une méthode d'exploration qui, en permettant d'observer sur le vivant, ne nécessite la suppression d'aucune des conditions mécaniques diverses, et en général si nombreuses, dans lesquelles les mouvements se produisent.

On prévoit, par cette énumération sommaire et d'ailleurs incomplète, l'importance et la variété des renseignements que la radiographie peut fournir en ce qui concerne la physiologie et la pathologie du squelette. Il ne faudrait

pas croire toutefois que l'ensemble des indications données dans les chapitres suivants représente d'une façon définitive le bilan qui doit être porté à l'actif du nouveau mode d'exploration, même à défaut de nouveaux progrès accomplis soit dans la connaissance de la nature des rayons X, soit dans la technique de leur production ; d'autres précieux renseignements doivent pouvoir être déduits de l'examen des clichés obtenus avec l'outillage actuel. Il s'agit là non de progrès retentissants à réaliser, mais de sagacité à montrer dans la préparation et la comparaison des clichés, ainsi que dans le rapprochement des particularités radiographiques observées avec les faits cliniques et les résultats d'intervention chirurgicale ou d'autopsie.

Docteur A. Imbert,
Professeur de Physique biologique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

Docteur H. Bertin-Sans,
Professeur agrégé à la Faculté de Médecine de Montpellier.

CHAPITRE II

MALADIES DES OS

Le tissu osseux étant, de tous ceux du corps humain, le moins perméable aux rayons X, c'est l'étude de ses lésions qui, avec la recherche des corps étrangers métalliques, a bénéficié en premier lieu de la découverte de Röntgen. Aujourd'hui encore, c'est dans les maladies du squelette que la radiographie trouve ses plus nombreuses et ses plus utiles applications.

Grâce à elle, les os nous apparaissent non seulement avec leur forme, mais encore avec les modifications survenues dans leur architecture intime et même les altérations de leur tissu. Nous avons ainsi des renseignements aussi exacts que ceux qui pourraient nous être fournis par l'autopsie la plus minutieuse, et cela non pas seulement à un moment donné, mais toutes les fois que nous le désirons, de sorte que nous pouvons suivre les processus morbides pas à pas et observer toutes les phases de leur évolution.

PREMIÈRE SECTION. — LÉSIONS TRAUMATIQUES DES OS

Nous nous occuperons tout d'abord des lésions traumatiques des os ; elles peuvent être accidentelles ou chirurgicales.

Les premières comprennent presque exclusivement les fractures. Avant d'aborder ce grand chapitre, nous devons dire quelques mots de deux lésions dans lesquelles il est intéressant de connaître les résultats de la radiographie.

La *contusion* simple ne donne lieu à aucun signe particulier, et il ne semble pas que, même au bout d'un temps fort long, le point contusionné présente la plus légère modification perceptible par les rayons X. Ce résultat négatif est important, car toutes les fois que nous verrons paraître un trouble autour de l'os, nous pourrons dire qu'il y a là un cal de fracture, et non le résultat d'une contusion.

Nous devons séparer également des fractures les *plaies* des os. La radiographie nous renseigne parfaitement sur l'étendue de la perte de substance ; elle nous fait voir que son évolution diffère de celle d'une fracture

et ne présente à aucun moment rien qui ressemble à la formation d'un cal ; à la surface de l'encoche osseuse, il se produit une mince lamelle de tissu compacte, qui de profil paraît sous la forme d'une ligne foncée ; mais, à part cela, l'image de la lésion est au bout de plusieurs mois exactement la même que le premier jour.

§ 1. — Fractures en général.

Renseignements fournis par la radiographie. — La radiographie rend, dans l'étude des fractures, d'inappréciables services, et l'on peut dire sans exagération, qu'en nous faisant apercevoir les os à travers les parties molles, elle a causé une véritable révolution dans ce chapitre de la chirurgie. Les progrès récents de la stéréoscopie ont encore perfectionné cette méthode, déjà si merveilleuse. Malheureusement, les renseignements qu'elle nous donne sont strictement limités à la lésion osseuse et nous laissent dans la plus complète ignorance sur ce que deviennent les parties molles voisines. Un foyer de fracture nous montre des fragments et des esquilles, mais dans quel état sont les muscles et les ligaments ? L'un d'entre eux est-il déchiré ou interposé entre les fragments ? Existe-t-il un épanchement sanguin ? Voilà ce que nous ne pouvons pas savoir aujourd'hui mieux qu'autrefois.

La radiographie ne remplace pas, mais elle complète les signes cliniques habituels qui mériteront toujours d'être étudiés avec soin, d'autant plus que pendant longtemps encore le matériel radiographique, présentant une certaine complication, sera difficilement transportable et ne pourra pas être entre les mains de tous les médecins ; mais toutes les fois que la nouvelle méthode est applicable, et c'est seulement ce cas que nous devons envisager ici, il est incontestable que les signes classiques des fractures passent au second plan, et que s'ils sont en désaccord avec la radiographie, ce qui arrive quelquefois, ce sont plutôt les renseignements fournis par cette dernière qui doivent être considérés comme exacts.

Causes d'erreurs. — Il est des cas cependant où la radiographie paraît se trouver en défaut. On a beaucoup parlé à la Société de chirurgie des graves erreurs que l'on commettrait si l'on s'en tenait strictement aux clichés pour connaître une fracture. Reynier a publié dans les *Bulletins de la Société* des épreuves de Contremoulins, dans lesquelles une fracture des deux os de l'avant-bras est présentée de telle manière qu'elle devient méconnaissable et que les différentes épreuves paraissent indiquer des lésions absolument différentes. On peut modifier à volonté le siège d'une fracture, le chevauchement des fragments ; on a même été, paraît-il, jusqu'à prendre l'ombre d'un os voisin pour un cal vicieux.

Sans admettre qu'il soit permis de se tromper aussi grossièrement, et sans tenir grand compte des clichés pris uniquement dans le but de montrer qu'il est possible de mal faire de la radiographie, il faut reconnaître que des erreurs peuvent être commises. Heureusement, il est facile de les éviter à

l'aide d'une technique rigoureuse, ou du moins de les atténuer de telle façon qu'elles deviennent à peu près négligeables. Malgré toutes les précautions, on ne sera jamais certain d'obtenir deux clichés absolument superposables, les points de repère ne pouvant avoir une précision mathématique, et il suffira d'un léger déplacement du membre pour modifier sensiblement l'image, qui ne devra être considérée comme exacte qu'à quelques millimètres près, approximation bien suffisante en pratique.

La radiographie peut ne pas révéler une fracture, cependant parfaitement réelle, et dont l'existence est démontrée par la mobilité anormale et même le raccourcissement. En pareil, cas l'erreur tient à ce que les fragments ont chevauché l'un sur l'autre en conservant très exactement la même direction et que leur ombre se superpose. En prenant une épreuve dans un plan différent, ce que l'on doit toujours faire, on verra distinctement les deux fragments.

La même cause d'erreur existe si l'os fracturé est placé devant un autre os ; dans ces conditions, la lésion passe facilement inaperçue ; une fracture du péroné prise de profil peut être cachée par l'ombre superposée du tibia ; de même pour les fractures de la rotule prises de face, que le fémur empêche d'apercevoir. Une seconde épreuve dans un plan différent permettra d'éviter l'erreur.

Les fractures sous-périostées peuvent être également invisibles et ne donner lieu ni à la moindre ligne blanche, ni à la moindre courbure, alors que les signes cliniques démontrent la solution de continuité d'une manière incontestable. En fléchissant un peu l'os, on verrait à l'aide de la radiographie le point d'inflexion, mais il est superflu de dire qu'une pareille recherche ne devra jamais être tentée de propos délibéré, et qu'un diagnostic douteux est préférable à une manœuvre nuisible ; au bout de quelques jours, les premiers vestiges du cal ne laisseront plus le moindre doute. C'est ce que j'ai pu observer sur un métatarsien qui, pris sous des angles différents, paraissait absolument intact et qui, au bout d'une douzaine de jours, présentait au niveau de sa partie moyenne un léger nuage, qui passa ensuite par toutes les phases d'évolution du cal. Le diagnostic rétrospectif des fractures par l'apparition du cal n'est pas absolument rare, on en a des exemples dans certaines fractures de l'avant-bras où un seul os d'abord paraît brisé, et où quelque temps après un cal paraît également sur l'os voisin.

S'il est exceptionnel de voir la radiographie ne pas montrer une fracture diagnostiquée par les moyens habituels, l'erreur inverse est extrêmement fréquente. Non seulement nous apercevons souvent, grâce aux rayons Röntgen, des fractures dont nous ne soupçonnions pas l'existence, mais quand la fracture a été reconnue, il est bien rare que la nouvelle méthode ne vienne pas redresser une erreur de diagnostic portant sur un détail, soit sur la direction du trait de fracture, soit sur son siège, soit sur le nombre et le déplacement des fragments, soit même sur l'os brisé.

Avantages de l'examen radiographique. — La supériorité de

l'examen radiographique est peut-être encore plus sensible aujourd'hui qu'elle ne le sera dans quelques années, car à mesure que son emploi se généralisera, on perdra un peu de vue les difficultés que l'on éprouvait et les erreurs que l'on commettait avant la découverte de Röntgen. La radiographie des fractures que l'on a eu à traiter avant 1896, et sur lesquelles on a conservé des notes précises, est particulièrement intéressante à cet égard. La complexité des lésions et le gonflement des parties molles, qui constituaient alors de si sérieux obstacles au diagnostic, n'ont plus maintenant la moindre importance.

Il résulte de ce que nous venons de dire que la radiographie devra désormais prendre une place sinon exclusive, du moins prépondérante, dans le diagnostic des fractures. Ajoutons qu'elle a très avantageusement amélioré le mode d'examen des blessés en réduisant au minimum les manœuvres exploratrices. Depuis longtemps déjà, les chirurgiens évitaient de provoquer de propos délibéré la crépitation osseuse, mais ils étaient bien obligés de voir s'il y avait de la mobilité anormale et en quel point de l'os la pression était douloureuse. Aujourd'hui, une recherche sommaire, ne donnant lieu à aucune douleur, permet de reconnaître quelle région il faut radiographier, et c'est par là que l'on commence.

Technique opératoire. — Position du sujet. — Le patient sera assis ou couché ; dans le premier cas, le membre à examiner reposera sur une table (coude, avant-bras, main) ou sur le sol (tarse, métatarse et orteils). Presque toujours, c'est dans le décubitus dorsal que la radiographie sera prise, non seulement parce que c'est là une position de nécessité dans la plupart des fractures, mais encore parce qu'ainsi on est plus sûr de l'immobilité et qu'il est plus aisé d'appliquer les dispositifs imaginés pour radiographier les membres fracturés dans différentes positions.

Ces positions pourront varier à l'infini, suivant la nature de la fracture, et il ne sera pas toujours facile de les définir exactement, ce qui est cependant nécessaire si l'on veut obtenir des résultats comparables. Il ne faut pas toutefois exagérer les difficultés, car, en pratique, on n'a pas besoin d'une exactitude mathématique, et les dénominations habituelles de positions frontale et sagittale, avec incidence latérale droite ou latérale gauche, antérieure ou postérieure, sont à peu près suffisantes. On notera, bien entendu, les autres détails de position du membre : flexion et extension, pronation et supination, abduction et adduction, rotation interne et externe, en en indiquant autant que possible le degré.

Distance du tube a la plaque. — Elle sera variable, assez grande pour ne pas trop déformer les os, pas assez toutefois pour allonger sensiblement le temps de pose. Elle est généralement de 30 à 50 centimètres. Il y aurait un certain avantage à ce qu'elle fût toujours la même, par exemple 50 centimètres, car les épreuves seraient ainsi plus comparables. On ferait bien aussi de compter cette distance à partir du focus, et non de la surface du tube.

Distance de l'os a la plaque. — Nous avons bien peu de chose à dire

de la distance de l'os à la plaque, car elle est presque toujours subordonnée au membre dont le volume est variable, mais facile à calculer. Il est des cas cependant où la partie à radiographier ne repose pas directement sur la plaque, et il peut être utile de connaître la distance à laquelle elle en est placée. Lorsque l'on veut prendre une épaule, par exemple, l'omoplate appuiera bien sur la plaque, mais la tête humérale pourra être plus ou moins élevée. Il en sera de même d'une fracture de jambe placée dans un appareil à extension de Hennequin.

Détermination de la direction d'incidence. — La principale difficulté consiste à bien déterminer la direction d'incidence des rayons X sur la plaque. C'est là, on peut le dire, la cause à peu près unique des graves erreurs qui ont été reprochées à la radiographie des fractures. Une légère différence dans l'angle suivant lequel les rayons traversent le membre modifie profondément l'épreuve, surtout si le tube est très rapproché. On opérera généralement en essayant de faire tomber la normale, c'est-à-dire le rayon perpendiculaire à la plaque, sur la partie que l'on désire obtenir avec le minimum de déformation, c'est-à-dire sur le foyer de la fracture. Mais ce but est souvent difficile à atteindre, car la plaque posée sur le lit n'est pas toujours rigoureusement horizontale, et surtout il n'est guère possible de connaître exactement le siège de la fracture, qui pourra être prise obliquement, alors qu'on la croit placée sur la normale.

Pour obtenir des renseignements exacts, on peut procéder de différentes manières. On pourrait, à la rigueur, indiquer la *partie anatomique* sur laquelle tombe le rayon normal, mais cette méthode n'est applicable que si l'on a des points de repère faciles à désigner, comme la pointe de la rotule, l'apophyse coracoïde, etc., ce qui est l'exception. Le plus souvent l'indication resterait beaucoup trop vague ; il serait par exemple insuffisant de dire que la normale tombe sur la partie moyenne de la cuisse ou à l'union du tiers inférieur et du tiers moyen de la jambe. Une plus grande précision est nécessaire, et il semble préférable d'indiquer sur la plaque elle-même le point où la normale la rencontre, avec un signe métallique radiographié en même temps que le membre.

A l'aide d'un *fil à plomb*, si la plaque est horizontale, ou d'une équerre dans le cas contraire, rien n'est plus simple que de déterminer le point sur lequel devra être placé l'indice métallique. On disposera alors le membre à radiographier sans changer la disposition du tube ni de la plaque.

Une autre méthode plus pratique, qui laisse toute liberté pour placer le membre, consiste à mettre l'indicateur de la normale non sur la plaque, mais sur le membre lui-même. Toutefois, elle présente l'inconvénient assez sérieux de n'indiquer exactement la normale que si le membre est placé directement au-dessous du tube ; car alors la détermination de cette ligne se fait avec le fil à plomb ; si le membre est placé à côté du tube, on ne peut plus avoir recours à l'équerre, comme tout à l'heure, car le membre ne présente pas une surface plane, et on est obligé de se contenter d'une indication approximative.

L'index métallique, que l'on placera, soit sur la plaque, soit sur le membre, pourra varier de volume et d'aspect. On peut employer des lettres en plomb, P pour la plaque, M pour le membre, mais on ne peut s'en servir que si la normale est verticale. Il semble plus commode d'utiliser de petits fragments de papier de plomb que l'on trouve partout et qu'avec un peu de colle on fera facilement adhérer à l'enveloppe de la plaque ou sur la peau du membre. On donnera à ces fragments une forme bien déterminée, afin de ne pas les confondre avec une esquille ou un corps étranger. Il serait même désirable de voir les radiographes adopter un signe uniforme, ce qui faciliterait la lecture des images.

On a souvent besoin d'autres points de repère. Les os ont généralement une forme assez particulière pour qu'à première vue on les reconnaisse et qu'on puisse les mettre en position. Cependant, comme les plaques n'ont pas la dimension des os et que les épreuves n'en représentent le plus souvent qu'une partie, on peut être embarrassé pour savoir dans quel sens doivent être regardées ces épreuves. Par exemple, la partie moyenne du fémur prise avec une plaque 18×24 ne pourra pas être orientée. Pour remédier à cette difficulté, il est assez commode de placer des lettres de repère, H dans le haut, B dans le bas, qui seront radiographiées avec le membre. Cette indication, jointe à la formule radiographique, suffira pour lire l'épreuve sans qu'il soit nécessaire de marquer le côté interne et le côté externe, ce que l'on peut faire également.

On n'a besoin des index situés sur la normale que lorsqu'il est nécessaire d'agir avec beaucoup de précision, ce qui est en somme assez rare, toutefois, il est certaines recherches dans la radiographie des fractures où ils deviennent indispensables, quand il s'agit, par exemple, d'étudier le déplacement des fragments et l'influence du traitement dans la diminution de ce déplacement. Si l'on procédait par à peu près et si l'on n'indiquait pas sur les épreuves des points de repère précis montrant comment on a opéré, on n'aurait pas le droit de juger les résultats d'un appareil ou d'une méthode de traitement. Rien ne serait plus facile, en effet, que d'augmenter ou de diminuer à volonté le chevauchement des fragments, en modifiant, même légèrement, la position du tube ou du membre.

Il peut être indiqué, dans l'étude d'une lésion osseuse, de comparer le côté sain avec le côté malade ; mais cette comparaison n'est utile que si on se place dans des conditions identiques pour chacun des deux membres. Il est superflu de dire que jamais on ne devra prendre les deux membres sur un même cliché : on n'obtiendrait ainsi que des renseignements sans valeur et complètement inutilisables. Des épreuves prises séparément sur chaque membre avec les précautions dont nous venons de parler sont, au contraire, un moyen précieux de diagnostic.

Munis de ces notions préliminaires, nous pouvons maintenant aborder l'examen radiographique d'une fracture.

A. — Diagnostic.

Position du membre à radiographier. — Pour connnaître exactement la disposition d'une fracture, il est nécessaire de la radiographier dans différentes directions. Souvent, une fracture invisible dans un sens sera manifeste dans un autre. Tout déplacement ne sera qu'imparfaitement connu, si on ne tire pas deux clichés sous un angle différent. Une épreuve prise d'avant en arrière ne peut indiquer un déplacement dans ce sens, mais seulement un déplacement latéral. On a l'habitude de radiographier les membres fracturés en position frontale et en position sagittale, et ces deux épreuves suffisent généralement. Mais cette règle n'a rien d'absolu, chaque fracture pouvant nécessiter une position différente du tube. Cependant il existe pour chaque variété une position d'élection indiquée par le déplacement habituel des fragments ou la disposition anatomique de la région. L'épreuve prise ainsi fournit les notions les plus importantes; on fera donc bien de commencer par elle.

Cette première épreuve donnera souvent une indication pour en prendre une seconde. Un examen radioscopique préalable fournira également des renseignements sur la meilleure manière de placer le tube. Mais on n'arrivera le plus souvent à la position la plus satisfaisante qu'après tâtonnement. On a beau établir des règles pour se placer dans les meilleurs conditions, la direction du trait de fracture et le déplacement des fragments sont des éléments trop variables pour que ces règles soient toujours applicables.

On devra faire en sorte que la partie à radiographier, non seulement soit le plus près possible de la normale, mais aussi qu'elle ne soit pas superposée à un autre os, ce qui donnerait lieu à une confusion gênante et pourrait même faire disparaître toute trace d'une fracture évidente. Il est indiqué de placer près de la plaque l'os dont on veut avoir la lésion avec la plus grande netteté. Nous essaierons dans la pratique de tenir compte le plus possible de ces conditions; mais elles ne sont pas toujours réalisables, souvent même elles sont contradictoires, et il faudra, pour chaque cas particulier, étudier la meilleure manière de s'y prendre et l'indiquer sur la formule radiographique.

Interprétation de l'épreuve radiographique. — Les épreuves étant prises avec ces précautions, nous devons maintenant les étudier en elles-mêmes et les interpréter. Dans la description qui va suivre, nous considérerons toujours l'épreuve positive.

Nous avons dit plus haut que, très exceptionnellement, le trait de fracture pouvait ne pas être visible, même quand on avait pris les précautions techniques nécessaires pour le mettre en évidence ; mais le plus souvent on le distingue nettement.

Rapports des fragments. — S'il n'y a pas de déplacement, on l'aperçoit sous forme d'une ligne blanche, qui peut affecter toutes les directions, trans-

versale, oblique ou longitudinale, plus ou moins sinueuse, pouvant s'étendre fort loin et pénétrer jusque dans l'articulation voisine.

Généralement, la solution de continuité de l'os est plus large, et l'os est



Fig. 313. — Production d'esquille par enfoncement d'une pointe du fragment supérieur dans le canal médullaire du fragment inférieur.

divisé en deux ou plusieurs fragments ; il est possible de se rendre un compte exact de leur disposition, de leur forme, de leur nombre, de l'obliquité de leur surface de section. Nous retrouvons ainsi toutes les variétés connues : fractures transversales, fractures obliques à biseau plus ou moins aigu,

fractures spiroïdes, fractures longitudinales, fractures par éclatement, etc.

La radiographie nous montre le déplacement de ces fragments les uns sur les autres, déplacement qui peut être simplement latéral, ou suivant la longueur, pour constituer le chevauchement. Pour le mesurer sur l'épreuve, on doit avoir soin de prendre l'intervalle qui sépare deux points correspondants des fragments, il faut s'assurer qu'il n'y a pas d'esquille intermédiaire et tenir compte de l'inclinaison des fragments, qui, vus obliquement, pourraient simuler un raccourcissement. Cette mesure du chevauchement présente des difficultés, mais l'emploi judicieux des points de repère métalliques permettra d'arriver à des résultats certains.

Quand les fragments pénètrent l'un dans l'autre, c'est généralement dans le tissu spongieux de l'un plus ou moins éclaté que l'autre s'enfonce, et il est assez difficile de suivre sur la radiographie les irrégularités de la ligne de fracture qui apparaît çà et là dans le tissu spongieux et devient surtout visible sur les bords de l'os. La radiographie montre combien cette pénétration est intime en faisant voir le faible résultat de la traction en pareil cas. D'autres fois, la pénétration se fait en pleine diaphyse ; la pointe d'un fragment entre dans le canal médullaire de l'autre (V. fig. 313) et, sous l'influence de la violence, qui tend à l'enfoncer davantage, se fissure plus ou moins loin. C'est là un mode fréquent de production d'esquilles qui a été bien révélé par la radiographie ; mais pour être sûr qu'il y a pénétration dans le canal médullaire, et non pas seulement superposition d'ombre, il faut avoir soin de placer le point où se fait la pénétration sous la normale et de la prendre dans plusieurs directions. C'est de la même façon que l'on pourra voir deux fragments accrochés l'un par l'autre donner lieu à l'irréductibilité d'une fracture (V. fig. 322).

Les esquilles sont bien visibles ; elles affectent toutes les formes et toutes les directions, courtes ou longues, longitudinales ou transversales. On les aperçoit parfois en des points où on ne soupçonnerait guère leur existence, assez loin du foyer de la fracture. Comme elles ne comprennent généralement pas toute l'épaisseur de l'os et qu'elles sont souvent même assez minces, elles donnent une ombre plus légère que celle des fragments, et quand elles leur sont superposées, cette ombre peut être à peine visible. Il importe cependant de bien voir quelle est leur situation par rapport aux fragments, car là est la grande cause de l'irréductibilité des fractures. Une petite esquille à peine visible, interposée entre deux fragments, constitue souvent un obstacle insurmontable à la réduction.

Siège de la fracture. — Ces différentes notions obtenues, il nous restera bien peu de chose à faire pour compléter l'examen d'une fracture. Une légère pression sur le membre au point indiqué par les épreuves suffira pour vérifier le siège de la fracture ou la saillie d'un fragment.

Mensuration. — Parmi les différents procédés d'exploration en usage dans l'étude des fractures, il en est un dont la radiographie augmente beaucoup l'importance, c'est la mensuration du membre. Jusqu'ici elle nous donnait

bien une notion générale sur le degré de déplacement des fragments, mais aujourd'hui que nous les voyons directement, nous pourrons mieux juger le rapport qui existe entre les mesures et l'état des os. C'est ainsi que nous verrons si le raccourcissement du membre est dû à un chevauchement des fragments ou à leur inclinaison, ce qui arrive souvent, notamment dans la fracture de l'extrémité inférieure du péroné. En cas de chevauchement, nous saurons, d'après la disposition des fragments, si nous pouvons espérer la réduire complètement, si cette réduction sera facile à maintenir, si, au contraire, nous devrons employer l'extension continue pour empêcher les fragments de glisser l'un sur l'autre.

La mensuration ne sera pas seulement applicable à la longueur des membres, elle pourra également être prise pour d'autres dimensions ; l'écartement des malléoles, par exemple, dans les fractures du cou-de-pied; recevra de l'épreuve radiographique sa signification précise.

Si l'on a placé le tube dans une position convenable, les mesures prises sur le membre et sur l'épreuve seront égales à quelques millimètres près. L'os étant à une certaine distance de la plaque, on sait que l'image obtenue n'est pas rigoureusement superposable à la lésion. On pourrait calculer mathématiquement la déformation, mais une telle précision est inutile. Tuffier estime qu'en plaçant le tube à 50 centimètres de la plaque, l'image est agrandie environ d'un dizième, soit de 1 millimètre par centimètre; c'est à peu près ce que nous avons trouvé nous-même.

Une fois que le rapport de la longueur des membres avec la lésion sera connu, on pourra, les jours qui suivront le traumatisme, se servir de la mensuration, moyen plus rapide et plus simple pour examiner les blessés. Si on constate une différence dans ces mesures, la radiographie sera prise et apprendra à quoi tient le changement survenu. De toute manière, il sera bon de prendre de temps en temps une épreuve, car les os peuvent se déplacer insensiblement sans laisser voir rien d'apparent.

En résumé, exploration du membre blessé sans causer aucune douleur, connaissance parfaitement exacte de la disposition de la fracture et de ses rapports avec les mesures prises sur l'extérieur du membre, répétition de l'examen à volonté pendant toute la durée du traitement de la fracture, dont la guérison peut être ainsi suivie quotidiennement par le chirurgien comme s'il s'agissait d'une plaie extérieure, tels sont les principaux avantages que l'examen des fractures a recueillis de la découverte de Röntgen.

B. — Marche de la fracture. — Étude du cal.

Il nous faut maintenant étudier les modifications qui vont se produire dans le foyer de la fracture et qui aboutiront, soit à la consolidation osseuse, soit à la pseudarthrose.

Les jours qui suivent la production de la fracture, les extrémités des fragments se voient seules avec une netteté parfaite. Il y a là une première

période de la formation du cal qui échappe complètement à la radiographie. C'est vers le douzième jour que commence à paraître, près du trait de fracture, un léger nuage, d'abord à peine visible, puis plus épais et enfin tout à fait foncé, vraisemblablement dû au dépôt de sels calcaires. Ce dépôt va se faire de façon fort différente suivant la disposition de la fracture.

Fracture avec coaptation parfaite des fragments. — S'il s'agit d'un os long et que les fragments soient bien bout à bout, l'opacité ne se voit pas sur leur surface de section, sans doute parce qu'elle se confond avec l'ombre de l'os, et on ne la distingue qu'à la circonférence. Le cal prend alors l'apparence d'une masse globuleuse diffuse demi-transparente qui encapsule le foyer de la fracture, lui forme une gaine qui peu à peu se fonce à mesure que ses bords se limitent mieux ; puis, de sphérique, elle devient fusiforme, pour finir par ne plus former qu'un léger renflement sur le tissu compact avec lequel elle se confond. En même temps, la continuité du canal médullaire se rétablit de l'un des fragments à l'autre. C'est là le cal parfait (V. fig. 314, 315, 316, 317).

Fracture avec léger chevauchement. — Si, au lieu d'être exactement coaptés, les fragments chevauchent un peu, tout en restant rapprochés, leur extrémité s'entoure d'un nuage diffus, qui peu à peu se transforme en un manchon de tissu compact fermant le canal médullaire et accolant les deux fragments. La portion interfragmentaire du cal est beaucoup plus épaisse que celle qui entoure le reste de la circonférence de l'os ; elle forme une cloison dense et foncée, présentant son maximum de densité aux limites inférieure et supérieure, qui paraissent alors sous forme de bandes noires dirigées obliquement de l'extrémité d'un fragment à la surface de l'autre. Si les fragments sont très rapprochés, on ne distinguera entre eux qu'une seule couche compacte. S'ils sont éloignés, les manchons de chaque fragment restent distincts et laisseront voir entre eux un espace clair, qui, s'il persiste, devra faire craindre la formation d'une pseudarthrose. Cette ligne blanche, plus ou moins large, existant au milieu de l'opacité qui entoure l'extrémité des fragments, est la caractéristique radiographique de la pseudarthrose.

Fracture avec chevauchement très étendu. — Enfin, si le chevauchement est très étendu, de 8 à 10 centimètres, par exemple, ou si les fragments sont très écartés, un seul des fragments aura son extrémité entourée d'une couche calcaire, et de cette extrémité va partir un cal interfragmentaire latéral qui s'étendra, nullement comme dans le cas précédent, sur toute la hauteur de la ligne de contact, mais seulement sur la partie de cette ligne la plus voisine de l'extrémité en question. C'est ainsi que, sur un chevauchement de 10 centimètres, le cal latéral pourra n'avoir que 3 ou 4 centimètres de hauteur. Au point où s'arrête cette union latérale, on voit partir de la surface du fragment actif une travée osseuse compacte se dirigeant d'abord obliquement, puis se recourbant pour aller se jeter à la manière d'un arc-boutant sur la surface de l'autre fragment. Ce dernier, que

nous pourrions appeler passif, ne semble prendre aucune part au travail de



Fig. 314. — Évolution du cal dans une fracture avec coaptation parfaite des fragments. 8e jour : Légère encoche sur l'os, aucune trace de cal.



Fig. 315. — Évolution du cal dans une fracture avec coaptation parfaite des fragments. 40e jour : Cal diffus, globuleux.

consolidation osseuse; il reste tel qu'il était le premier jour, et, quand la

consolidation sera complète, on le verra émerger de la surface lisse du cal en



Fig. 316. — Évolution du cal dans une fracture avec coaptation parfaite des fragments 80e jour : Cal bien limité, diminuant de volume.



Fig. 317. — Évolution du cal dans une fracture avec coaptation parfaite des fragments 7e mois : Cal fusiforme, rétablissement du canal médullaire.

ne présentant d'autre modification que la fermeture de son canal médullaire

par du tissu compact disposé souvent sous forme d'un cône pointu prolongeant l'axe de l'os (V. fig. 318). C'est seulement dans les mois et même les années suivantes que le cal interfragmentaire latéral s'étendra peu à peu,

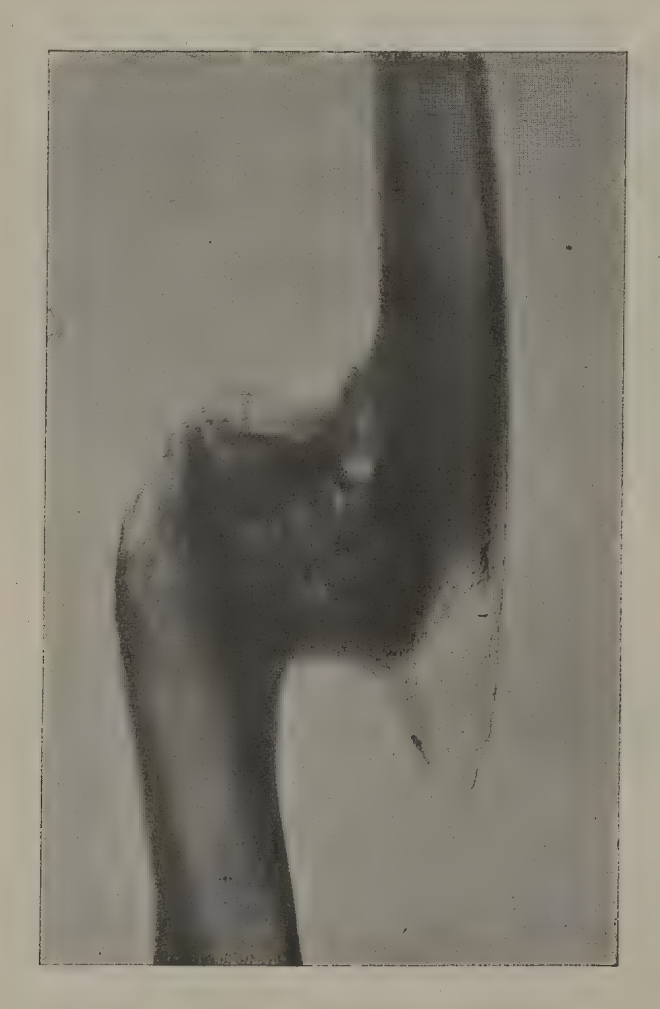


Fig. 318. — Radiographie de fracture montrant l'un des fragments saillant hors du cal et terminé en pointe.

mais presque toujours incomplètement, à toute la hauteur du chevauchement.

Différentes variétés de cal. — Le cal ne se présente pas toujours avec l'aspect que nous venons de décrire. Dans certains cas, la radiographie ne permet d'en apercevoir aucune trace, bien que la fracture date de plusieurs mois, qu'elle soit parfaitement consolidée et que le membre ait recouvré ses fonctions. Une union solide des fragments s'est effectuée, et cependant elle n'est pas révélée par la radiographie. Il est probable que cela

tient à un apport insuffisant des sels calcaires, mais il est d'autant plus



Fig. 319. — Fracture du cubitus et luxation du radius. — Après l'accident.

difficile de l'affirmer que ces membres paraissent aussi solides que ceux

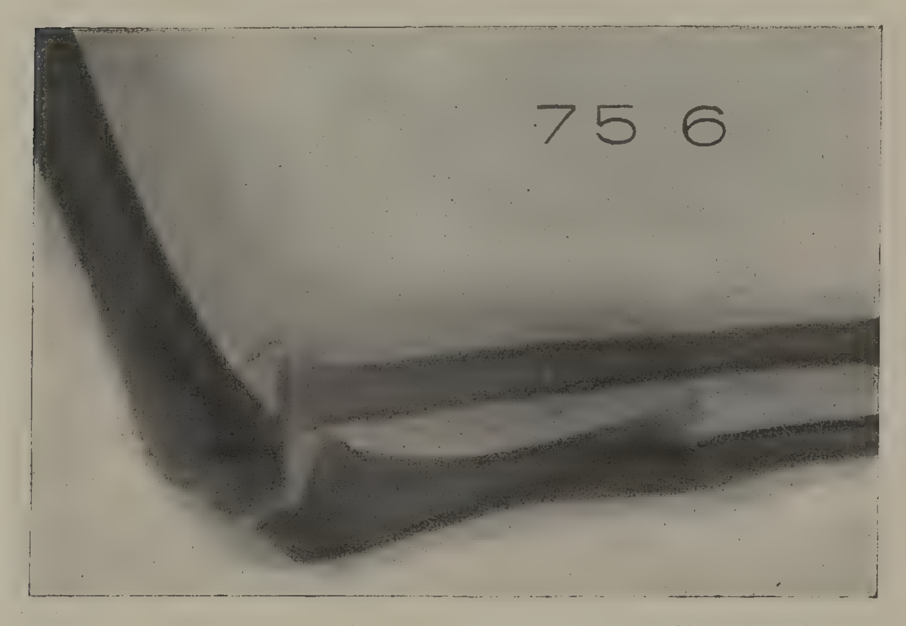


Fig. 320. — Fracture du cubitus et luxation du radius. — Six mois après.

qui laissent voir un cal bien formé. C'est surtout dans les fractures

obliques du tibia que se produisent ces cals restant longtemps invisibles.

La radiographie nous montre sur le vivant les nombreuses variétés de cal, que l'anatomie pathologique a depuis longtemps décrites, et sur lesquelles il n'y aurait aucun intérêt à insister. Mais il en est une qu'il importe de connaître, car elle pourrait faire croire à la coaptation exacte d'une fracture au contraire fort mal réduite. Si deux fragments, chevauchant ou non, mais inclinés l'un sur l'autre, se consolident dans cette position vicieuse, il se fait dans l'angle qu'ils circonscrivent un dépôt osseux qui peu à peu va le combler complètement, si bien qu'au bout de quelques mois, les deux fragments semblent bien réduits, alors qu'en réalité ils restent dans leur position défectueuse (V. fig. 319, 320). Le chirurgien, suivant avec la main le bord de l'os et le trouvant rectiligne, affirmera de bonne foi la réduction parfaite de la fracture. C'est sans doute à des erreurs de ce genre qu'est due l'opinion suivant laquelle des os consolidés avec une certaine courbure auraient une tendance à se redresser.

Durée de la formation du cal. — Le temps nécessaire pour que le cal arrive à sa forme définitive est variable. Cette durée paraît un peu plus courte pour les os de petit volume. Sur un métatarsien, on voit paraître le cal sous forme d'un nuage léger vers la fin de la deuxième semaine ; au bout d'un mois, il a l'aspect d'une masse globuleuse encore diffuse ; dans le courant du deuxième mois, il prend à peu près sa forme définitive ; désormais il ne changera plus sensiblement, mais le canal médullaire deviendra de plus en plus visible.

Sur le fémur, l'apparition des premiers vestiges du cal à la radiographie, semble commencer aussi vers la fin de la deuxième semaine, mais l'état diffus persiste plus longtemps que sur les métatarsiens, la transformation en cal fusiforme compact est plus lente, mais elle s'opère de la même manière.

Dans un rapport présenté au Congrès international de médecine de 1900, j'ai dit que chez l'enfant la formation du cal était notablement différente de ce qu'elle est chez l'adulte, en ce que le travail néoplasique, au lieu de porter uniquement sur l'extrémité des fragments, s'étendait assez loin sur eux et intéressait surtout le périoste, qui était épaissi à plusieurs centimètres au-dessus et au-dessous de la solution de continuité de l'os. Cette assertion nous paraît aujourd'hui trop absolue, car si parfois chez l'enfant le cal répond à cette description, bien souvent aussi il ne diffère pas de celui des adultes ; les différences observées tiennent probablement moins à l'âge qu'aux lésions du périoste, qui, chez l'enfant, est plus facilement décollé par un traumatisme que chez l'adulte. Cette activité particulière du périoste, visible à la radiographie, ne se manifeste pas également sur tout le pourtour de l'os ; lorsque les fragments forment un angle, c'est du côté de son ouverture que se voit ce cal allongé, le côté où il fait saillie en étant habituellement dépourvu.

Structure du cal. — La radiographie permet d'étudier, même sur le vivant, la structure du cal. Chacun des fragments garde sa forme primitive

au milieu de la gangue osseuse qui l'entoure. C'est là un fait absolument constant et que l'on peut vérifier sur des cals de trente à quarante ans. Toutefois, dans certaines circonstances (fractures compliquées de plaie, réduction défectueuse, etc.), il est possible de constater une dégénérescence du tissu osseux, qui, au lieu de montrer des trabécules et des lamelles bien nettes, prend un aspect grenu et sans texture déterminée.



Fig. 321. —Vieux cal vicieux de fracture de fémur.

On peut trouver un séquestre invaginé, qui présente alors les caractères que nous décrirons plus loin dans ceux de l'ostéomyélite. Il est également fréquent de voir des esquilles englobées dans le cal (V. fig. 321), avec lequel elles contractent des adhérences qui leur permettent de vivre ; leur tissu peut subir un certain degré de dégénérescence, mais pendant bien longtemps elles restent reconnaissables.

On s'est encore servi de la radiographie pour étudier d'une manière plus minutieuse l'architecture intime du cal sur des pièces anatomiques sciées

en lamelles minces. On obtient ainsi, sur la disposition des trabécules, des détails plus complets que ne pourrait donner l'examen à la simple vue. Cette méthode, qui a été utilisée pour l'étude des os normaux, est excellente pour montrer comment leur architecture se modifie suivant les changements apportés par la fracture dans la statique de l'os. Au point où les pressions anormales vont désormais se faire sentir, le tissu osseux se condense, et de ce noyau foncé, comme d'une clef de voûte, émerge un nouveau système de lamelles qui va supporter le poids du corps.

C. — Traitement.

Le diagnostic une fois établi, et la disposition de la fracture étant connue, le rôle de la radiographie est loin d'être terminé : c'est elle qui permettra de poser les indications thérapeutiques et à chaque instant nous renseignera sur l'action du traitement employé.

Fractures sans déplacement. — S'il n'existe aucun déplacement, le membre est maintenu en bonne position par un appareil des plus simples, sans compression et sans violence, et le massage est alors tout indiqué. C'est dans ces cas qu'il donne les meilleurs résultats.

Fractures avec déplacement. — S'il existe un déplacement, la radiographie nous dit dans quel sens il faut diriger les tractions pour réduire, et il semble au premier abord que, guidée d'une manière aussi précise, rien ne soit plus simple que la réduction d'une fracture. Si une seconde épreuve fait voir que le déplacement n'est pas suffisamment corrigé, on recommencera les manœuvres, au besoin avec l'anesthésie. On a même proposé différents instruments permettant de suivre sur l'écran fluorescent les modifications qui se passent dans le foyer de la fracture à mesure qu'on essaie de la réduire ; mais, jusqu'à présent du moins, ces appareils ne sont pas entrés dans la pratique, ce qui n'a guère lieu de surprendre, car il paraît bien difficile de mener de front des tractions nécessitant une entière liberté de mouvement et un examen aussi délicat que la radioscopie.

Malgré le secours apporté par la radiographie, on est bien obligé de reconnaître que la réduction d'une fracture est loin d'être chose facile et que souvent même elle est impossible. Nous pouvons aller plus loin et dire qu'une réduction parfaite est l'exception.

Complications. — Les difficultés sont de plusieurs sortes. Nous n'avons pas à revenir ici sur la présence des esquilles, ni sur l'obliquité de la surface de section des fragments, points sur lesquels nous sommes maintenant si bien renseignés. Nous ne pouvons rien dire non plus de l'interposition des muscles ou des ligaments entre les fragments, car la nouvelle méthode est muette à ce sujet. Mais en supposant le foyer de la fracture la plus simple, la radiographie nous montre que la réduction, qui peut être facile immédiatement après le traumatisme, devient vite très difficile ; ce n'est pas seulement une question de jours, mais presque une question d'heures. Aussi ne

faut-il pas attendre pour réduire. A quoi tiennent des difficultés qui surviennent si vite ? La radiographie ne nous le dit pas, mais elles sont bien vraisemblablement dues à un épanchement sanguin ou à une contracture musculaire. Au bout de quelques jours, les adhérences interviennent pour aggraver l'irréductibilité ; plus tard, enfin, les obstacles apparaîtront sous forme de nuages légèrement opaques, qui sont soit les premiers vestiges visibles de la formation du cal, soit des points osseux développés sur des fragments de périoste arrachés. A ce moment la position relative des fragments peut être considérée comme définitive et ne peut plus être modifiée que par une opération sanglante. Nous avons à maintes reprises vu soumettre à l'extension continue des fractures arrivées à cette période ; il semblait, à première vue que l'on obtenait une certaine amélioration du chevauchement, la mensuration du membre était même invoquée pour démontrer l'action effective de l'appareil, mais la radiographie montrait bien vite que c'était là une illusion et que le chevauchement n'avait pas diminué de 1 millimètre.

S'il n'est pas toujours possible de réduire exactement une fracture, nous sommes du moins capables de placer les os dans une bonne attitude qui permettra d'avoir un membre solide et utile. Pour cela la radiographie sera précieuse en indiquant la position réelle des fragments et ce qu'il faut faire pour ramener leur axe dans la même direction. Une réunion angulaire est infiniment plus gênante qu'un chevauchement. C'est toujours dans le sens où le traumatisme les a poussés que les os tendent à se porter de nouveau pendant toute la durée du traitement, même après l'application d'un appareil, même, pourrions-nous dire, après une suture osseuse. La notion exacte du déplacement primitif indiquera dans quel sens nous devons agir pour l'empêcher de se reproduire.

Action des appareils de fracture. — Rien n'est plus facile que d'étudier l'action des différents appareils de fracture, car ils se laissent très bien traverser par les rayons X. Dans les appareils ordinaires, les bandes et les compresses ne se voient pas, les attelles de bois donnent une ombre à peine visible, seules les bandes de diachylon sont un peu obscures, et leurs circulaires paraissent sous forme d'anneaux sombres qui entourent le membre. Les appareils inamovibles sont également bien suffisamment perméables. Les attelles plâtrées laissent voir vaguement le quadrillage de la tarlatane dont elles sont formées, mais cela ne gêne nullement. Mencière a proposé, pour rendre l'examen plus facile, de remplacer le plâtre par un feutre particulièrement perméable ; mais cette modification a été peu employée, et l'on continue à se servir de l'excellente attelle plâtrée. Dans les appareils à extension continue, le membre repose souvent dans une gouttière de fil de fer qui s'imprime en lignes noires sur la plaque ; mais les mailles sont assez larges pour que là encore on puisse apercevoir la disposition des fragments.

C'est à travers ces différents appareils que la radiographie est appelée à suivre et à diriger le traitement des fractures, et il faut reconnaître qu'elle a

causé une certaine déception en montrant que les résultats n'étaient pas aussi satisfaisants qu'on le pensait jadis. Que la réduction ait été faite ou non, les appareils semblent n'avoir pas une efficacité certaine pour maintenir les fragments dans la situation où ils étaient au moment de leur application. Sous les attelles ou dans les appareils plâtrés, il n'est pas rare de voir le chevauchement augmenter; les appareils à extension continue donnent certainement de meilleurs résultats, mais ils sont loin d'amener toujours l'extrémité des fragments en contact. Dans cette recherche de l'action de l'appareil, il est inutile de dire qu'on doit s'entourer de toutes les précautions dont nous avons parlé dans la technique. Une épreuve prise au jugé et sans points de repère devrait être considérée comme étant sans valeur.

Suture osseuse. — C'est en voyant les résultats relativement peu satisfaisants des appareils que certains chirurgiens ont pensé qu'il y avait mieux à faire aujourd'hui, et ils pratiquent la suture osseuse lorsque le cliché radiographique indique un déplacement irréductible. Tuffier, qui a été un des premiers et des plus ardents promoteurs de la méthode, a même proposé tout un appareil instrumental pour procéder à la suture, et il insiste avant tout sur la nécessité d'agir de suite si l'on ne veut pas rencontrer des difficultés considérables.

Sans accepter la suture osseuse comme méthode générale du traitement de toutes les fractures irréductibles, il est certain que l'ouverture du foyer et la suture sont indiquées dans bien des cas où autrefois on n'aurait pas pu y penser. L'irréductibilité par interposition d'une esquille ou par accrochement de deux fragments d'un os voisin également fracturé ne peut se reconnaître que par la radiographie, qui nous enseignera non seulement comment on peut aller sans tâtonnement lever l'obstacle, mais encore s'il y a lieu de régulariser l'extrémité des fragments pour leur assurer un large contact.

Cas divers de fractures. — La radiographie rend les mêmes services lorsque, au lieu d'une fracture récente, il s'agit d'une fracture consolidée vicieusement. On pratique fréquemment aujourd'hui la section oblique de cals vicieux suivie de l'extension continue ou de la suture. On conçoit que ces opérations complexes ne peuvent être entreprises que si l'on connaît exactement la conformation du cal et si l'on peut contrôler l'action du traitement.

Il est d'autres fractures où la radiographie est encore plus nécessaire; ce sont celles qui intéressent une articulation. Ici, la fonction du membre est liée à l'intégrité parfaite des surfaces articulaires; il suffit d'un éclat, même de minime importance, pour empêcher le jeu de l'articulation ou du moins le gêner de telle manière qu'il en résulte une infirmité sérieuse.

Nous pourrions ranger ici tous les traumatismes articulaires regardés jadis comme de simples contusions ou des entorses et qui étaient suivis de douleurs persistantes, de raideurs ou même d'ankyloses inexplicables. Aujourd'hui, la radiographie montre que, presque dans tous ces cas, les sur-

faces articulaires ne sont pas intactes et qu'un petit fragment impossible à reconnaître par le palper est la cause de l'infirmité.

Le traitement une fois terminé, la radiographie sera encore appelée à juger le résultat définitif, et l'on vérifiera une dernière fois le rapport qui existe entre l'épreuve radiographique et la mesure du membre. Il est bon de ne pas trop se hâter de dire que le résultat est définitif et de ne pas laisser sans surveillance le fracturé qui commence à se lever. Il n'est pas rare de voir un cal paraissant solide, après immobilisation pendant le temps nécessaire, présenter une certaine déformation dans les premières semaines où le blessé se met à marcher.

Il n'est pas exceptionnel non plus d'avoir à constater une fracture accidentelle d'un os consolidé. Dans ce cas, il s'agit le plus souvent d'un simple décollement de fragments mal réunis ; mais parfois aussi une ligne blanche traversant toute l'épaisseur du cal et des fragments montre que la solution de continuité est bien une fracture nouvelle.

§ 2. — Fractures en particulier.

Il ne peut être question de passer ici en revue l'emploi de la radiographie dans toutes les variétés de fractures, mais nous devons parler de celles dans lesquelles son application présente quelque chose de spécial ou a révélé des faits nouveaux.

Toutes les fractures peuvent être vues à l'aide des rayons X, même celles du tronc.

Fractures de la colonne vertébrale. — Les fractures de la colonne vertébrale se voient assez facilement au niveau de la région cervicale, où chaque apophyse apparaît avec une netteté suffisante. Elles peuvent être prises en position frontale et en position sagittale. A partir de la troisième vertèbre dorsale, les détails sont moins distincts ; cependant, on peut encore reconnaître une fracture de cette région, en considérant non plus chaque vertèbre, mais le contour général de la colonne vertébrale, qui, en un point présente une brisure de son axe. A la région lombaire, le diagnostic est bien souvent impossible.

Fractures du sternum. — Elles se voient très imparfaitement en les prenant en position frontale avec incidence postérieure. Quant à celles des côtes, l'incidence devra varier suivant le point brisé, qui devra autant que possible être placé sur la normale et le plus près possible de la plaque ; généralement, il n'y a pas de déplacement, et elles apparaissent sous forme d'une ligne blanche.

Fractures du bassin. — La radiographie, dans ce cas, est difficile, non seulement en raison de l'épaisseur des parties molles qui les recouvrent, mais surtout à cause de l'irrégularité des os.

C'est presque le seul moyen de diagnostic de l'enfoncement traumatique

de la cavité cotyloïde, lésion qui n'est pas absolument rare et qui, lorsqu'elle s'observe chez des petites filles, peut déterminer plus tard des bassins dystociques.

Fractures de l'humérus. — C'est dans les fractures des membres que la radiographie trouve son principal emploi. Elle a montré que les fractures de l'*extrémité supérieure de l'humérus* sont plus fréquentes qu'on ne le croyait jadis. Dans beaucoup de traumatismes considérés comme des contusions ou des entorses, on trouve des fractures incomplètes, sous forme d'éclats plus ou moins volumineux détachés de la tête humérale, ou même des fractures complètes, qui, n'ayant donné lieu à aucun déplacement, passeraient facilement inaperçues sans la radiographie. C'est à ces fractures méconnues que Tuffier attribue les raideurs et les ankyloses qui surviennent si souvent à la suite des traumatismes de l'épaule et qui sont attribuées à une périarthrite spéciale. Un diagnostic précoce est fort utile en pareil cas, car, s'il y a fracture, il faut encore, plus que dans la contusion, procéder immédiatement à la mobilisation et au massage de la jointure.

Ces fractures se voient généralement bien en position frontale avec normale tombant sur la tête humérale ; toutefois, les clichés ne sont guère comparables, car il est difficile de déterminer la position du sommet de l'épaule par rapport à la plaque ; de là résultent des déformations artificielles de la tête humérale, qu'il faut bien se garder de confondre avec une lésion traumatique.

Dans les fractures de l'*extrémité inférieure de l'humérus*, la radiographie en plan frontal, bien que souvent insuffisante, n'en reste pas moins le procédé de choix dans l'immense majorité des cas (Mouchet). L'avant-bras reposera autant que possible sur sa face postérieure, et, si l'extension est impossible, ce qui arrive presque toujours, il sera placé sur un coussin élevé avec appui de chaque côté pour maintenir le membre dans une parfaite immobilité.

L'épreuve en plan sagittal est souvent nécessaire, car c'est elle qui permet de constater l'une des fractures du *coude* les plus fréquentes chez les enfants, celle dans laquelle le fragment supérieur de l'humérus chevauche en avant du fragment épiphysaire, qui a entraîné avec lui en arrière les deux os de l'avant-bras, en simulant une luxation.

Très souvent les fractures du coude s'accompagnent d'un gonflement considérable, qui rend le diagnostic à peu près impossible, et, si on devait attendre, pour le poser, que l'infiltration ait disparu, il serait trop tard pour réduire. Aucune fracture peut-être ne devient aussi rapidement irréductible que celle du coude. Ces deux conditions font que la radiographie doit être immédiatement appliquée de parti pris à tous les traumatismes du coude ; on évitera ainsi de graves déboires. Cette intervention rapide est peut-être encore plus nécessaire dans les décollements si fréquents de l'épiphyse inférieure de l'humérus que dans les fractures proprement dites, car la réduction se fait alors comme pour une luxation, parfois avec le ressaut caracté-

ristique ; si l'on attend quelques heures, ce résultat idéal ne peut plus être que bien rarement atteint, et on a toutes les peines du monde à faire rentrer l'extrémité de la diaphyse dans la cupule offerte par l'épiphyse décollée.

Pour bien interpréter les renseignements donnés par la radiographie, il importe beaucoup de comparer les épreuves à des radiogrammes du coude sain pris dans le même plan et avec la même incidence. C'est là une précaution utile pour toutes les régions, mais plus encore ici, en raison de la complexité de l'articulation. En outre, comme ces traumatismes s'observent fréquemment à un âge où le développement osseux n'est pas terminé, il faudra connaître la marche de l'ossification pour ne pas confondre un point osseux, non encore soudé, avec un fragment de fracture. Il y a là toute une anatomie radiographique normale de l'enfant et de l'adulte dont la connaissance préalable est indispensable.

La radiographie a montré la tendance de certains muscles à s'ossifier autour des régions qui ont été le siège de traumatisme. A cet égard, le coude jouit d'une prédisposition toute particulière. A la suite de fractures, et même de simples contusions, il n'est pas rare de voir, sous forme de masses sombres, l'ossification partielle des tendons des muscles voisins : brachial antérieur, biceps, triceps. Ces productions semblent prolonger les apophyses normales, le triceps ossifié donnera une ombre qui se continuera sans ligne de démarcation avec le sommet de l'olécrane, de même le triceps avec la tubérosité bicipitale. Parfois, au milieu de ces parties sombres, on verra se détacher une tache plus noire, représentant un fragment d'os arraché. Il n'est pas rare d'apercevoir le bec de l'apophyse coronoïde sous forme de petite tache isolée.

Fractures de l'avant-bras. — Les fractures de la partie moyenne de l'avant-bras seront radiographiées de préférence en supination, car on peut voir ainsi la tendance des os à se rapprocher l'un de l'autre, tendance que connaissaient bien les anciens chirurgiens, qui tâchaient de s'y opposer à l'aide des compresses graduées de vénérable mémoire. Les appareils formés de deux attelles, loin de l'empêcher, la favorisent plutôt, car malgré la largeur des planchettes, les tours de bande appuient toujours au moins légèrement sur les parties molles et par leur intermédiaire refoulent les fragments vers le centre du membre. C'est du moins ce que la radiographie nous a montré à plusieurs reprises, et il nous a semblé que, lorsque le déplacement est trop accusé, la suture osseuse peut être indiquée.

La saillie des fragments vers l'espace interosseux présente d'assez graves inconvénients, et elle ne peut être révélée que par la radiographie. La formation du cal peut masquer le déplacement en faisant croire à une réduction satisfaisante, alors que la pointe d'un fragment s'enfonce dans les parties molles. C'est surtout quand les deux os sont fracturés au même niveau qu'il y a lieu de prendre des précautions, car ils pourraient se souder l'un à l'autre. Chose curieuse, il n'est pas nécessaire que les deux os soient brisés

pour que cette soudure ait lieu. Il peut arriver qu'un seul os fracturé donne lieu à la production d'un cal exubérant qui, sans raison connue, va se jeter sur l'os voisin parfaitement sain, ce qui naturellement abolit les mouvements de pronation et de supination. J'en ai observé un exemple, et dans la magnifique collection que le professeur Maydl a envoyée à l'Exposition de 1900, il y avait une fracture du cubitus avec cal exubérant adhérant largement au radius sain. Cette possibilité doit toujours être présente à l'esprit et sera un argument de plus en faveur de la suture osseuse.

Les fractures de *l'extrémité inférieure du radius* ont été l'objet de nombreuses recherches radiographiques ; nous devons citer en première ligne celles de Destot et Gallois, qui ont eu surtout pour but l'étude de leur mécanisme. Ces fractures nous offrent un type excellent de fractures par pénétration ; elles nous montrent combien est solide l'engrènement des fragments et quelle force nous devons employer pour remédier à la déformation osseuse. Les épreuves seront prises en plan frontal et en plan sagittal sur le membre reposant en pronation sur une table. Presque constamment l'apophyse styloïde du cubitus est arrachée (plus de 80 p. 100 d'après Oberst) ; les lésions concomitantes du *carpe* sont rares, beaucoup plus que n'auraient pu le faire présumer les expérimentations sur les animaux.

C'est la fracture du scaphoïde qui se rencontre le plus souvent en pareil cas, car c'est sur cet os que le radius paraît s'appuyer pour se briser ; il se divise alors en deux fragments. Les autres os du carpe peuvent également se fracturer, qu'il y ait ou non lésion du radius. On a signalé des fractures du semi-lunaire, du pyramidal, du grand os. Elles simulent de simples contusions et il faut la radiographie pour dénoter leur existence. Comme elles intéressent toujours les articulations, elles laissent à leur suite une certaine gêne dans les mouvements.

Les fractures des *métacarpiens et des phalanges* sont fréquentes ; elles siègent soit sur le corps de l'os, soit sur les extrémités, et affectent toutes les directions : transversale, oblique, longitudinale ; souvent elles sont comminutives. L'une des plus communes paraît être le décollement juxta-épiphysaire de l'extrémité inférieure du 5e métacarpien avec refoulement du petit fragment vers l'axe de la main, on le rencontre surtout chez des enfants qui, dans leurs jeux, reçoivent un choc sur leur poing fermé. Oberst signale, parmi les causes d'erreurs possibles, l'existence d'os sésamoïdes anormaux ; on en voit très fréquemment aux doigts, notamment sur les articulations métacarpo-phalangiennes de l'index et de l'auriculaire; celui qui se développe parfois sur la face antérieure de l'articulation de la 1re avec la 2e phalange du pouce ressemble beaucoup à un fragment osseux arraché.

Fractures du fémur. — A la cuisse, la radiographie est venue confirmer l'assertion de Royal Whitman sur la fréquence relative des fractures du col du fémur chez les jeunes enfants.

Les fractures du *genou* sont d'un diagnostic difficile, et c'est souvent en voyant persister une infirmité grave qu'on en soupçonne l'existence ; celles

qui intéressent le plateau tibial, regardées jadis comme rares, sont au contraire fréquentes; mais on les prend facilement, au moment de l'accident, pour une entorse et même une contusion simple. La radiographie, en montrant ces lésions immédiatement après leur production, permet d'y remédier autant qu'il est possible ; elle pourra, dans certains cas rares, indiquer une intervention pour enlever ou suturer un fragment détaché d'une surface articulaire si son déplacement est irréductible.

Fractures de la rotule. — Les fractures de la *rotule* seront elles-mêmes mieux connues et si l'indication de la suture osseuse comme méthode générale de traitement a été posée il y a longtemps, cette opération est facilitée par la connaissance que nous avons du nombre, de la forme et du déplacement des fragments.

Fractures des os de la jambe. — Dans les fractures de jambe la radiographie nous fait voir l'obliquité du biseau du fragment supérieur et son influence sur le chevauchement. Ce biseau ne répond généralement pas à une surface correspondante du fragment inférieur, presque toujours il existe une longue esquille postérieure qui explique ce défaut de concordance et qui, par son interposition entre les deux fragments, est une cause fréquente d'irréductibilité. Le fragment inférieur présente souvent une division qui peut paraître, soit sous forme de mince fissure se prolongeant plus ou moins loin, parfois jusque dans l'articulation, soit sous forme d'une large fente qui sépare ce fragment en deux moitiés entre lesquelles le fragment supérieur pénètre comme un coin.

La coïncidence d'une fracture du péroné dans les fractures du tibia mérite de nous arrêter un peu. Elle est presque constante quand la cause est indirecte, et la disposition de ses fragments explique parfois une difficulté de réduction. Il faudra donc la rechercher, et on peut la trouver dans un point imprévu, généralement assez haut. Le siège de la fracture du péroné dans les fractures de jambe nous a paru avoir une signification pronostique d'un certain intérêt. Il semble que, si les deux os sont fracturés au même niveau, le pronostic soit moins favorable ; non seulement les deux cals peuvent se confondre, ce qui est déjà une condition fâcheuse, mais en supposant que les os soient bien réduits et se consolident isolément, leur consolidation nous a paru notablement plus lente que si les fractures siègent à des niveaux différents.

La radiographie nous renseigne encore plus utilement dans les fractures qui touchent à *l'articulation tibio-tarsienne :* fracture sus malléolaire, fracture de Dupuytren, fracture bi-malléolaire. Ces différentes fractures vont toutes nous offrir à résoudre ce problème capital : les rapports qui existent entre la mortaise tibio-péronière et l'astragale sont-ils restés normaux, et dans le cas contraire que sont-ils devenus ? A cette question, la radiographie répond de la manière la plus précise.

Ces rapports peuvent rester normaux. Mais c'est là une exception ; le plus souvent il y a déplacement, et la poulie de l'astragale ne sera plus

enclavée dans la mortaise tibio-péronière. Les déplacements de ce genre sont nombreux. Tantôt c'est le plateau tibial qui s'incline ; tantôt une malléole ou toutes les deux s'écartent de l'os dont elles font partie; tantôt, enfin, c'est l'astragale qui se déplace. Mais dans tous ces cas un même fait domine, c'est que l'astragale, n'étant plus maintenue et serrée dans une mortaise qui lui correspond exactement, ne peut plus supporter le poids du corps ni exécuter tous ses mouvements.

Nous ne pouvons envisager ici tous ces divers changements de rapports ; qu'il nous suffise d'insister sur les plus fréquents et les plus importants.

On sait que, dans les *fractures du cou-de-pied*, le pied tend toujours à se renverser en dehors et que c'est là le grand danger de ces sortes de fractures. Souvent cette tendance au renversement ne paraît pas exister immédiatement : elle ne se manifeste qu'au bout d'un certain temps, quelquefois seulement lorsque le blessé commence à marcher. On a l'habitude de le mesurer en prolongeant la crête tibiale, qui à l'état normal doit tomber sur le premier espace interdigital; mais ce signe est souvent trompeur et il manque de précision en raison de la grande mobilité des articulations du tarse et du métatarse. Ce qui ne trompe pas, c'est la connaissance exacte des rapports des os de la jambe avec l'astragale, mais comme cet os est trop profondément situé pour permettre d'y sentir des points de repères utiles, la radiographie est seule capable de nous éclairer. L'épreuve prise dans le plan frontal nous renseignera sur le déplacement de l'astragale. Ce déplacement est complexe et peut être décomposé en deux mouvements distincts : le transport de l'os en dehors en vertu duquel sa face supérieure arrive en rapport avec l'articulation tibio-péronière et même le péroné, et un mouvement de bascule qui agit d'une manière encore plus grave en présentant à la jambe comme point d'appui, non plus une large surface articulaire, mais un simple bord linéaire, qui se trouve en contact avec la surface articulaire du tibia ou s'enfonce comme un coin entre le tibia et le péroné. Ajoutons que le plus souvent la malléole interne est arrachée à sa base et suit l'astragale, soit en conservant sa base en haut, soit en exécutant un mouvement de bascule en vertu duquel sa pointe se dirige directement en dehors.

De ce diagnostic exact va dépendre le pronostic. Si une fracture malléolaire ou même une fracture de l'extrémité inférieure de la jambe n'a entraîné aucune modification dans les rapports de l'astragale avec la mortaise tibio-péronière, on peut affirmer que le pronostic est favorable et que le blessé marchera bien, même si la réduction de la fracture est défectueuse. Si, au contraire, il y a le moindre déplacement de l'astragale dans sa mortaise, le poids du corps porte à faux, et il en résulte une infirmité grave, même si les fragments paraissent consolidés en assez bonne position.

C'est aussi la radiographie qui nous permettra de diriger convenablement les manœuvres de réduction en nous montrant pour quelle part interviennent dans le déplacement du pied les deux éléments qui le constituent ; il ne suffit pas de remédier au mouvement de bascule en portant le pied dans

l'adduction, il faut aussi corriger le glissement en dehors en poussant l'astragale fortement en dedans. Même si l'on a exécuté ce double mouvement, rien n'indique qu'il ait été porté assez loin. Avec la radiographie nous allons suivre la réduction pas à pas ; plusieurs séances seront peut-être nécessaires,

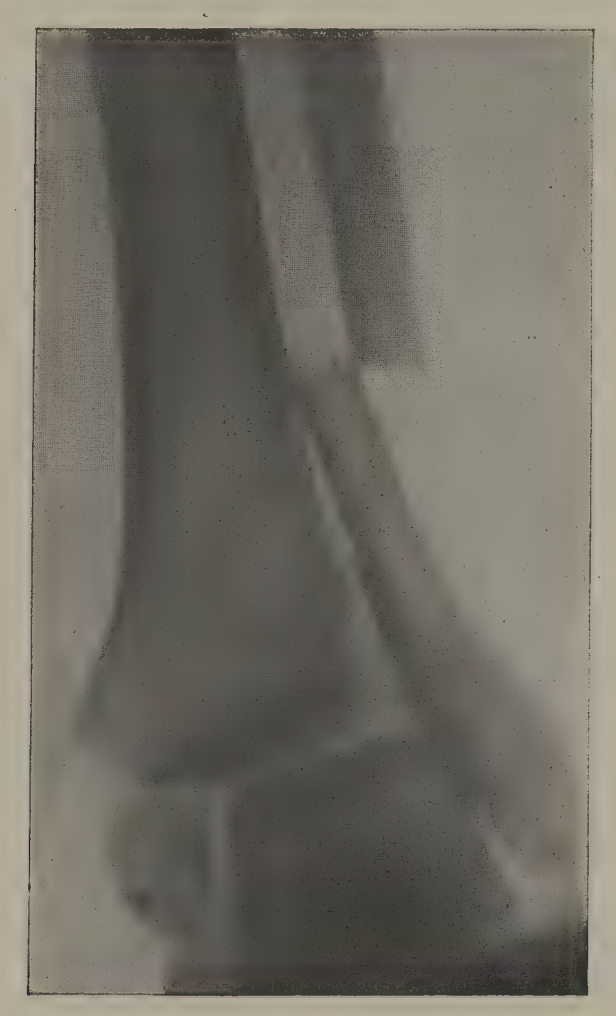


Fig. 322. — Fracture de Dupuytren avec glissement et renversement de l'astragale en dehors. Après l'accident.

ainsi que l'anesthésie, et l'on ne s'arrêtera que lorsque l'astragale sera bien emboîté dans sa mortaise et que sa face interne appuiera sur la facette articulaire de la malléole tibiale. Si cette malléole a été arrachée et a suivi l'astragale, nous ne cesserons les manœuvres que lorsqu'elle aura repris sa place au-dessous de la surface d'arrachement ; cette réduction de la malléole ne veut pas toujours dire que l'astragale soit réduit. Il faut souvent, pour réussir, des

pressions très énergiques. Parfois même ces manœuvres sont insuffisantes, il faut aller plus loin, et c'est en remédiant par une opération sanglante à l'accrochement des deux fragments du péroné brisé plus ou moins haut, qu'on pourra remettre l'os en place (V. fig. 322, 323, 324).

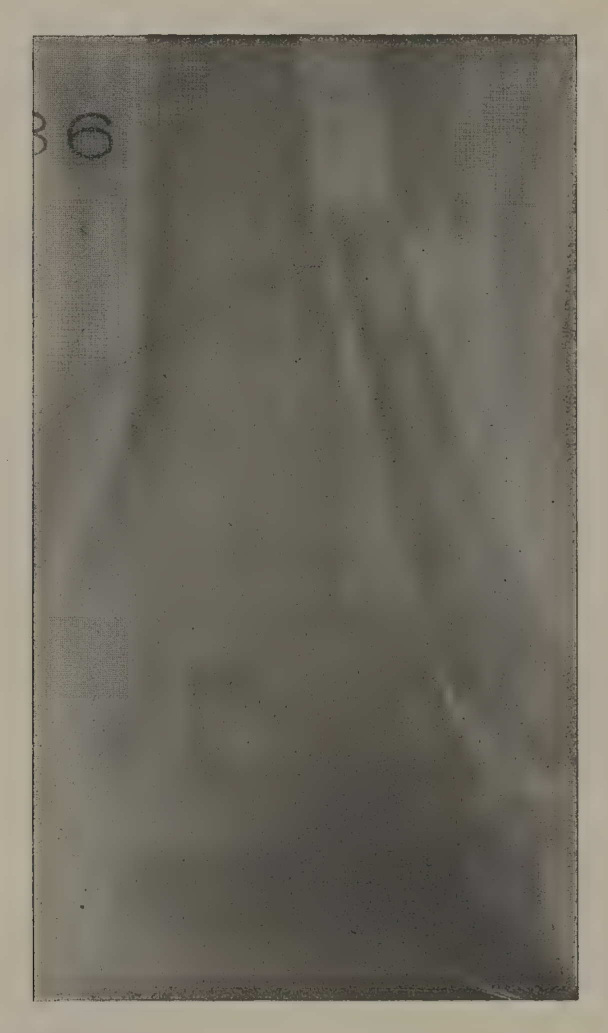


FIG. 323. — Fracture de Dupuytren avec glissement et renversement de l'astragale en dehors. — Après tentatives très énergiques de réduction sous le chloroforme et application d'attelle plâtrée.

Les fractures bi-malléolaires peuvent s'accompagner d'autres déplacements qui résultent du glissement, soit en avant, soit en arrière, des deux os de la jambe abandonnés par leurs malléoles restées en place. Bondet et Destot ont montré que, pour que ces déplacements puissent se produire, il fallait l'existence d'un troisième fragment tibial entamant le plateau arti-

culaire, antérieur s'il s'agit d'un glissement en arrière, postérieur s'il s'agit d'un glissement en avant.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de cas récents, mais le chirurgien peut avoir sous les yeux des lésions anciennes qui ont été méconnues ou insuffi-

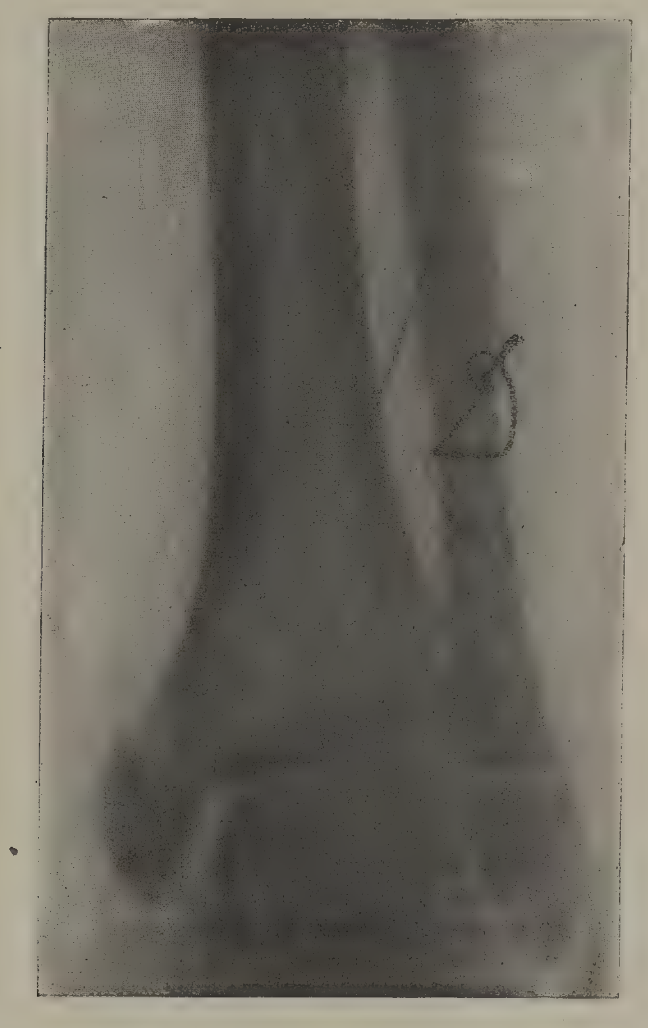


FIG. 324. — Fracture de Dupuytren avec glissement et renversement de l'astragale en dehors. — 19 jours après la suture du péroné.

samment traitées. A ce moment le diagnostic est fort difficile ; mais la radiographie va nous montrer les lésions aussi nettement que si elles venaient de se produire, ainsi que les modifications survenues dans les os par suite des pressions anormales qu'ils ont eu à supporter ; de plus, elle nous indiquera comment il nous sera possible de ramener l'axe de la jambe sur son appui astragalien, en un mot quelle sera l'opération à faire.

Elle est bien plus difficile ici que sur des os venant d'être brisés. Toute la statique du pied a été modifiée par ce long usage en dehors de la normale, les os plus ou moins déformés et déviés ont contracté des adhérences, un cal peut les unir à leurs malléoles détachées, etc. Des épreuves prises de face et de profil nous donnent une notion exacte des changements survenus, nous voyons quels os il y a lieu d'enlever ou de conserver, quelle direction nous devons donner au trait de scie, etc. L'opération une fois terminée, nous vérifierons à travers l'attelle plâtrée et le pansement si la position des os est bonne et si les surfaces de section se répondent exactement.

Fracture des os du pied. — La *frature de l'astragale* était autrefois considérée comme très rare ; la radiographie en fait aujourd'hui une des fractures les plus fréquentes ; Destot a pu en observer une trentaine dans l'espace d'une année et il les a bien décrites. On en distingue deux variétés, suivant qu'il y a ou non déplacement des fragments. Leur diagnostic est obscur et ne peut être établi que par la radiographie. Elles simulent dans une certaine mesure des fractures malléolaires et calcanéennes, avec lesquelles elles peuvent se combiner et ont été souvent confondues. Depuis que l'attention des chirurgiens est attirée de ce côté, les observations se multiplient, et il sera bientôt possible d'écrire une histoire complète de cette fracture, qui semble reconnaître un seul mécanisme : l'écrasement.

Nous terminerons ce rapide exposé par l'exemple le plus frappant peut-être de l'utilité de la radiographie dans le diagnostic des fractures, car il s'agit d'une maladie décrite depuis fort longtemps, mais dont la pathogénie était restée inconnue. Nous voulons parler de cette affection du pied spéciale aux jeunes soldats, désignée en France sous le nom de pied forcé et en Allemagne sous celui de *Fussgeschwulst*. Envisagée suivant les auteurs comme une lésion des ligaments, une périostite de nature spéciale, une ostéo-périostite rhumatismale, elle consiste, en réalité, comme l'ont prouvé à l'aide des rayons X les médecins militaires allemands, en une simple fracture des *métatarsiens*. En montrant que ce sont presque toujours les deuxième et troisième métatarsiens qui sont fracturés, la radiographie a révélé un point intéressant du mécanisme de cette facture. En effet, dans la station debout et dans la marche, le pied qui supporte le poids du corps représente une voûte dont un des piliers est constitué par les extrémités antérieures des métatarsiens, mais surtout par les deuxième et troisième, qui dépassent notablement les autres. Rien d'étonnant par conséquent à ce que, en cas de pression plus forte portant sur le pied dans le saut ou dans la marche, ce soient ces deux os qui se brisent, dans leur partie la plus fragile, c'est-à-dire dans leur moitié antérieure.

Fractures compliquées. — Tout ce que nous avons dit à propos des fractures simples s'applique également à celles qui sont compliquées de plaies ; pour ces dernières, nous devons cependant ajouter quelques détails.

Nous n'avons plus ici la crainte d'aggraver l'état du blessé en agissant à ciel ouvert dans le foyer de la fracture pour réduire avec ou sans suture

osseuse. L'opération, guidée par la radiographie, se fait sans tâtonnements et en réduisant le traumatisme au minimum. C'est surtout dans les fractures compliquées de jambe qu'on peut apprécier ces avantages ; la simple extraction de la longue esquille postérieure dont on sait la situation exacte suffira souvent pour que les fragments reprennent leur place normale.

Dans les écrasements des extrémités articulaires avec plaie, la radiographie nous dira comment il faut intervenir. Au membre supérieur, et notamment au coude, on sera le plus souvent tenté d'enlever les débris épiphysaires.

Enfin, dans les factures par armes à feu, il existe presque toujours de nombreuses esquilles disséminées au loin, des corps étrangers, fragments de projectiles ou débris de vêtements, et pour les reconnaître la radiographie sera pour nous une incomparable auxiliaire.

§ 3. — Opérations sur les os.

La radiographie joue un rôle important en médecine opératoire, en traçant dans bien des cas l'opération à faire, par les renseignements qu'elle fournit sur la nature et le degré des lésions osseuses. Nous venons de voir les services qu'elle rend dans le traitement sanglant des fractures récentes et anciennes. C'est avec le cliché radiographique en main qu'il faut intervenir en pareil cas.

Les résultats des opérations sur le squelette ne seront pas moins intéressants à observer à l'aide des rayons X. Non seulement nous pourrons voir si la position que nous avons donnée aux os pendant l'opération persiste et, dans le cas contraire, agir soit par un changement d'appareil ou de position, soit par des tractions ou autres manœuvres, mais nous connaîtrons mieux le mode de réparation définitive, qui est loin d'être toujours le même. Bien qu'il s'agisse des deux phénomènes que nous avons vus entrer en jeu dans la consolidation des fractures, la soudure osseuse directe et l'ostéogenèse périostique, ils se présentent avec des allures tellement différentes qu'il faut les étudier dans chaque cas particulier.

Résections articulaires. — Nous laissons de côté les indications que la radiographie fournit pour dire si l'opération est possible et dans quelle étendue les os devront être retranchés. Nous n'insisterons que sur le mode de réparation.

La guérison peut avoir lieu de deux manières, soit par ankylose, soit par reproduction d'une articulation mobile.

1° *Guérison par ankylose.* — Si l'on a recherché l'ankylose, comme dans la résection du genou, les extrémités osseuses ont été sectionnées pour pouvoir s'appliquer exactement l'une sur l'autre, et même elles ont été suturées. Dans ce cas, le processus de réparation est fort simple et se passe uniquement au niveau de la surface de section, sans que le périoste paraisse

jouer aucun rôle. La radiographie, prise plusieurs mois ou même plusieurs années plus tard, montre les os tels qu'ils étaient au moment de l'opération; on aperçoit une mince ligne de tissu compact noir au niveau de la réunion osseuse; parfois, entre les deux os paraît une ligne blanche, tenant sans doute à ce que le contact n'a pas lieu sur toute la surface de section, sans que la solidité en soit moindre pour cela; mais la périphérie de l'os reste intacte: on n'y voit aucun nuage, aucun renflement, en un mot aucune trace de cal extérieur. Même dans le cas où l'une des surfaces est notablement plus large que l'autre, il ne se fait aucun dépôt osseux apparent à la radiographie pour combler ou même simplement arrondir l'angle qui résulte de la réunion des deux os.

2° *Guérison par articulation mobile.* — Si, au contraire, on recherche et on obtient une articulation mobile, comme au coude, l'ostéogenèse périostique va seule entrer en jeu dans le travail de réparation. Quelque temps après l'opération, on voit paraître au milieu des parties molles restées invisibles de nombreux petits nodules un peu plus foncés que le tissu qui les entoure; peu à peu, ces nodules s'élargissent, s'unissent les uns aux autres pour constituer des masses à contour net et à forme bien déterminée et se transforment finalement en saillies et apophyses osseuses reliées aux os. C'est ainsi que se reconstituera graduellement une nouvelle articulation solide et cependant mobile se rapprochant, dans une certaine mesure, de l'articulation normale, mais en différant par certains caractères spéciaux que la radiographie permet d'étudier.

Dès que la découverte de Röntgen fut connue, Ollier vit là un moyen précieux d'observer dans ses moindres détails le phénomène de l'ostéogenèse périostique à la suite des résections sous-périostées et fit radiographier tous ses réséqués (une centaine environ) qu'il put retrouver. Il a communiqué les résultats de cette vaste enquête à l'Académie des sciences et au Congrès international de médecine de 1900, et il a fait voir comment la substance osseuse développée aux dépens du périoste conservé reproduit une articulation nouvelle. Les masses osseuses ont des formes variables, elles sont quelquefois énormes sans gêner pour cela les mouvements. Chez les enfants, cependant, il faut se défier de cette exubérance de l'ossification venant du périoste. La radiographie nous a déjà permis de faire la même observation à propos du cal des fractures.

C'est surtout au *coude* que cette étude a été faite. Ollier a montré, sur des radiographies de résections pratiquées trente ans auparavant, que presque toujours la reproduction osseuse se fait suivant le type bimalléolaire; le coude ressemble à une articulation tibio-tarsienne limitée latéralement par deux grosses malléoles qui empêchent les mouvements de latéralité et donnent une grande solidité à l'articulation. L'olécrâne se reproduit également très bien avec sa courbure et sa longueur normales; il est souvent assez grêle; cependant, chez un enfant réséqué depuis quatre mois seulement, Ollier a vu un oléocrâne plus gros qu'à l'état normal.

A la suite de la *résection de l'épaule* la tête humérale se reproduit également bien ; mais elle est supportée par un col relativement étroit. Les formes de l'os nouveau sont d'ailleurs subordonnées non seulement à l'étendue, mais aussi à l'état du périoste conservé. C'est ainsi que, à la suite d'une résection de toute l'extrémité supérieure du fémur et de 7 centimètres de diaphyse dans une ancienne coxalgie, Redard obtint une néarthrose solide; mais la radiographie montra que la diaphyse seule s'était reproduite et s'articulait directement avec le bassin.

De même, après une résection sous-périostée de l'*astragale* du *calcaneum* et d'une *partie du tibia*, Estor observa la reconstitution des deux derniers os, mais il y avait absence complète du premier.

Ostéotomie. — C'est surtout pour poser les *indications opératoires* que la radiographie rendra service dans l'ostéotomie, car, grâce à elle, on connaîtra avec la plus grande précision le point où l'os devra être coupé, la direction qu'il faudra donner à sa section, la mesure du redressement à effectuer, la forme et la dimension d'un coin osseux à enlever ; dans ce dernier cas, il est même très commode de reproduire sur l'image radiographique un simulacre de l'opération que l'on doit pratiquer, en enlevant un morceau de papier exactement semblable au fragment à réséquer et en voyant si cette perte de substance est de grandeur convenable.

Après l'intervention, on se rendra compte immédiatement du résultat pratique de l'acte opératoire, et l'on pourra suivre comme dans une fracture le mode de réunion des fragments qui donnera, suivant le but qu'on s'est proposé, un cal solide, une néarthrose, ou même un allongement progressif de l'os.

Ostéoclasie. — Il était intéressant de savoir ce que la radiographie nous montrerait à la suite de l'ostéoclasie, qu'on a souvent accusée d'agir brutalement et à l'aveugle; mais comme cette opération est presque toujours pratiquée sur des enfants dont le squelette est encore en partie cartilagineux, les lésions portant sur des tissus invisibles aux rayons X restent invisibles elles-mêmes. Vincent (de Lyon) a examiné à ce point de vue trois enfants de cinq à neuf ans, chez qui il avait pratiqué la tarsoplasie pour des pieds bots varus équin ; les épreuves prises avant et après l'opération ne montrèrent aucune différence : il n'y avait aucune lésion osseuse, et les lésions des cartilages et des ligaments n'étaient pas visibles.

On ne pourrait obtenir de renseignements positifs que chez les sujets dont le squelette est complètement ossifié; mais jusqu'à présent aucune radiographie après ostéoclasie chez un adulte n'a été publiée. Faute de cas récents, Vincent, dans son mémoire, nous donne les résultats radiographiques constatés chez cinq sujets opérés de tarsoplasie depuis huit à douze ans. Ces résultats sont un peu vagues et ne dénotent dans quatre cas que des lésions fort légères d'une entorse médio-tarsienne et tarso-métatarsienne ; on voit des parcelles osseuses arrachées, deux fois une subluxation du tarse antérieur sur le tarse postérieur, aucune trace perceptible de fracture. Sur le cin-

quième malade on aperçoit un trait de fracture par arrachement sur le scaphoïde ; il semble également que la tête de l'astragale, l'apophyse antérieure du calcaneum, du cuboïde et peut-être même les extrémités postérieures des cinquième et quatrième métatarsiens, aient subi des altérations de forme par le fait de la réduction forcée.

En résumé, suivant Vincent, la radiographie montre que l'ostéoclasie ne produit habituellement que les lésions traumatiques d'une entorse, et très exceptionnellement, même chez l'adulte, des arrachements osseux et de véritables fractures, lésions qui du reste ne font qu'assurer la fonction en rétablissant la forme. Mais jamais elle n'est suivie, à une époque plus ou moins éloignée, ni d'ostéite, ni d'arthrite.

Transplantations osseuses. — Les greffes osseuses entrent de plus en plus dans la pratique chirurgicale, et la radiographie en contrôle très heureusement les résultats.

Qu'un os transplanté provienne d'un animal ou du blessé lui-même, on suit facilement son développement dans son nouveau milieu, et l'on a même pu constater son accroissement progressif, tendant à lui donner le même volume que l'os qu'il est appelé à remplacer.

Une observation de Poirier, présentée à la Société de chirurgie en 1898, est très instructive à cet égard : un péroné large de 8 millimètres, greffé à la place d'un tibia de 39 millimètres, avait doublé de volume au bout d'un an, et vers la fin de la troisième année présentait un volume égal aux deux tiers de celui du tibia.

Moignons d'amputation. — A la suite d'une amputation ordinaire, la section osseuse se cicatrise comme une plaie et non comme une fracture. L'os reste exactement tel qu'il était au moment de l'amputation, sans présenter le moindre trouble à son extrémité. On voit peu à peu se former une très mince couche de tissu compact qui va d'un bord à l'autre et ferme le canal médullaire. Plus tard, on peut voir cette couche arrondir l'extrémité sectionnée.

Différentes modifications peuvent se produire par la suite. Le tissu spongieux perd le plus souvent sa structure normale et prend une apparence grenue et amorphe qui est vraisemblablement en rapport avec l'atrophie et la dégénérescence graisseuse de l'os. Cette altération se produit sur une étendue variable au-dessus de laquelle reparaît la structure normale ; là où elle existe, le tissu compacte est également dégénéré et prend le même aspect grenu que le tissu spongieux et la moelle, avec lesquels il se confond ; cette dégénérescence se fait d'ailleurs irrégulièrement, peut n'intéresser qu'un des bords de l'os, et, dans ce cas, une des parois du canal médullaire s'amincit de plus en plus pour disparaître à plusieurs centimètres au-dessus de la section, tandis que, de l'autre côté, la couche de tissu compact garde son épaisseur jusqu'au bout. Il ne faut pas trop se hâter de conclure à une altération pathologique, quand au lieu du fin réticulum constitué par les trabécules osseuses, l'os présente un aspect flou. La pose relativement longue nécessitée

par la radiographie rend difficile l'immobilité absolue du sujet, et quelques mouvements, même légers, peuvent supprimer la finesse des détails et causer l'apparence dont nous parlons en ce moment.

Ces différentes modifications que nous fait constater la radiographie sont bien probablement dues aux incidents qui sont survenus à la suite de l'opération : un moignon qui a suppuré offrant des altérations autres que celui qui s'est cicatrisé par première intention. L'état général doit entrer aussi en ligne de compte pour expliquer certains détails révélés par la radiographie.

Un homme que j'avais amputé au quart inférieur de la jambe pour un broiement du pied survenu en pleine période secondaire de la syphilis, présentait cinquante-six jours après son amputation, c'est-à-dire longtemps après la cicatrisation complète du moignon, une formation d'os nouveau à la surface du tibia et du péroné sur les faces se regardant. Il en résultait, sur un des côtés de chaque os, un renflement long de 8 à 10 centimètres, commençant seulement à 3 centimètres de l'extrémité restée parfaitement normale. Cette disposition tenait bien vraisemblablement à l'existence de la syphilis.

Il est des moignons plus complexes sur lesquels la radiographie donne des renseignements d'un autre ordre.

Les moignons ostéoplastiques de Bier, dans lesquels la section de la diaphyse est fermée par un fragment osseux, sont, paraît-il insensibles et capables de supporter sans aucune gêne le poids du corps. Ce serait là un progrès réel sur les moignons ordinaires. La radiographie permet de juger la valeur de la méthode en montrant si le fragment osseux reste bien soudé à l'extrémité du canal médullaire et si la bonne confection du moignon répond à son bon fonctionnement. Les avis sont encore divisés à ce sujet.

On peut se proposer un autre but dans la confection d'un moignon. Dans l'amputation de Syme pratiquée sur un pied où le procédé de Pirogoff serait impossible, Ollier a proposé de conserver le périoste de la partie postérieure du calcaneum, ce qui permet la reproduction d'une masse osseuse sur laquelle la jambe s'appuie solidement et qui diminue d'autant le raccourcissement. Il a pu montrer la radiographie d'un moignon datant de 1881, dans lequel, grâce à cette précaution, il s'était formé un nouvel os ajoutant 4 centimètres de longueur au membre et sur lequel l'opéré marchait avec autant d'aisance que sur un calcaneum normal.

La radiographie montre de même la masse osseuse qui se forme entre la jambe et les os conservés du tarse dans les moignons d'amputation de Wladimiroff-Mickulicz.

Opérations sur les anomalies congénitales des os. — La disposition des os étant exactement connue, on pourra plus facilement remédier à leurs anomalies. En cas de syndactylie ou de polydactylie, on sait d'avance s'il y a lieu de sectionner l'os ou de désarticuler. Ce détail n'est pas négligeable, car il arrive souvent que, dans l'amputation d'une

division d'un pouce bifide, on soit porté à croire qu'il y a continuité de l'os et non articulation, et l'on peut alors laisser une extrémité osseuse qui, en se développant dans la suite, donnera lieu à une saillie disgracieuse.

Le redressement du pied bot donne lieu à une observation différente. L'architecture des os étant en rapport avec la fonction, la radiographie permet de suivre les changements qui se passent dans la disposition et la direction des travées du tissu spongieux, une fois que les points d'appui ont été changés.

DEUXIÈME SECTION. — AFFECTIONS NON TRAUMATIQUES DES OS

§ 1. — **Périostite.**

La périostite s'observe dans plusieurs affections osseuses ; elle est caractérisée radiographiquement par un épaississement du périoste, qui forme à la surface de l'os un renflement fusiforme dont les limites ne sont jamais diffuses, mais sont au contraire tracées par une ligne parfaitement nette aussi bien du côté des parties molles, plus claires, que du côté de l'os, plus foncé. Cette couche nouvelle, due à l'exagération de la fonction ostéogénique du périoste, présente parfois une striation comme si elle était formée par des dépôts successifs; elle peut acquérir une grande épaisseur, surtout chez les enfants, mais toujours elle présente ce caractère spécial d'aller en s'amincissant graduellement sans saillie brusque. Si elle arrive jusqu'à un cartilage juxta-épiphysaire, elle ne le dépasse point.

Les modifications ultérieures varient suivant les maladies qui ont déterminé la périostite ; il est préférable d'en parler à propos de chacune d'elles.

§ 2. — **Ostéite et ostéomyélite aiguë.**

Les lésions anatomiques de l'inflammation aiguë du tissu osseux se voient bien avec les rayons Röntgen. Oberst, qui, dès le début de l'application de la nouvelle méthode, a montré les services qu'elle pouvait rendre dans ce cas spécial, fait observer avec juste raison que, malgré les résultats satisfaisants qu'elle donne, elle n'a pas modifié sensiblement le traitement, qui pouvait se faire aussi complètement et aussi sûrement avec les moyens d'exploration dont nous disposions auparavant. Cependant, elle permet de mieux connaître l'étendue et la situation des points malades ; elle peut même montrer des séquestres qui avaient échappé à la sonde et qui pourraient entretenir des fistules interminables ; enfin, elle donne sur certaines complications de voisinage des renseignements précieux pour le pronostic.

Malheureusement la radiographie ne nous fait rien voir au moment où il serait le plus utile d'avoir une connaissance exacte de la nature et du siège de la lésion, c'est-à-dire dans la période de début. On ne peut donc pas compter sur elle pour faire le diagnostic, qui doit toujours être précoce. Un membre, atteint d'ostéomyélite aiguë, pendant les huit premiers jours, apparaît avec tous ses caractères normaux, et, bien qu'à ce moment il y ait déjà une suppuration abondante autour et à l'intérieur de l'os et que l'incision soit des plus urgentes, le tissu osseux et le cartilage juxta-épiphysaire ne présentent pas le moindre trouble à la radiographie.

C'est vers le dixième ou onzième jour que l'on commence à voir vaguement dans l'os une partie un peu plus claire, qui n'indique pas nécessairement le point où a débuté la maladie, mais l'endroit où le pus, en fusant, a donné lieu à une destruction plus profonde du tissu osseux. C'est souvent à la surface de l'os, tout à fait à l'extrémité de la diaphyse, près du cartilage juxta-épiphysaire qu'on aperçoit une zone plus claire à bords déchiquetés. Le siège de cette première lésion visible peut d'ailleurs varier.

A partir de ce moment, nous verrons se produire toute une série de phénomènes : production de fongosités dans les points enflammés, transformation de certaines parties osseuses en séquestres mobiles qui seront peu à peu isolés des parties saines et, enfin, apparition de tissu osseux nouveau à la surface de l'os qui sera finalement entouré par une gaine de nouvelle formation. La radiographie nous permettra d'assister à cette évolution, qui se fera librement si l'on a méconnu le diagnostic, mais qui, si l'on est intervenu, n'en suivra pas moins à peu près la même marche.

Quand les bourgeons charnus se produisent dans l'épaisseur même du tissu osseux, ce tissu devient plus clair, et sa structure est moins nette ; si, au contraire, ils n'existent qu'à la surface de l'os ou sur une faible épaisseur, aucune modification n'est visible. — La zone altérée est plus ou moins étendue, elle comprend généralement toute l'extrémité spongieuse de la diaphyse, mais elle peut s'étendre plus loin et apparaître sous forme de taches claires remontant le long du canal médullaire, dont les parois compactes deviennent inégales. Ces taches peuvent même exister à une grande distance du foyer primitif, dont elles restent séparées par une zone relativement saine.

Au milieu de ces espaces clairs, on voit çà et là de petites taches foncées, qui sont des débris osseux détachés du reste de l'os. Ces séquestres ont des formes et des dimensions variables Ils sont fréquemment formés par un segment de la paroi compacte du canal médullaire ; dans ce cas, on voit paraître entre la lamelle qui doit se détacher et le reste de l'os une mince ligne blanche, qui est pour le tissu osseux ce qu'est le sillon d'élimination pour les parties molles ; quand cette ligne paraît bien constituée, on peut affirmer que le séquestre est mobile et peut être enlevé (V. fig. 325).

Ces séquestres sont fort irréguliers, présentent des parties foncées et des parties claires en rapport avec la destruction de l'os par les bourgeons

charnus ; quand ils sont constitués par la paroi compacte, ils sont fort étendus, se prolongeant plus ou moins loin dans le canal médullaire de la diaphyse, qui, sur une certaine hauteur, a une teinte plus claire. Ils ont une

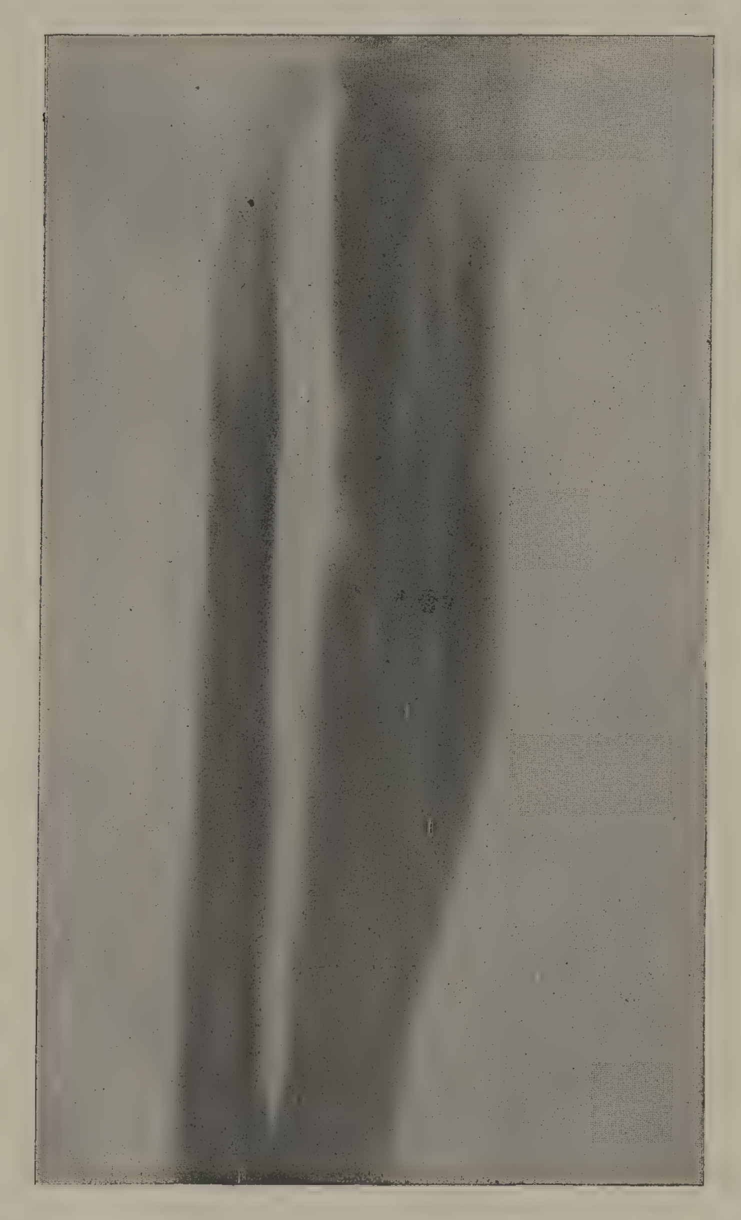


Fig. 325. — Séquestre du radius, suite d'ostéomyélite.

forme déchiquetée caractéristique qui se reconnaît très bien. On pourrait dessiner d'avance la forme du séquestre que l'on doit enlever, et si, après l'extraction, on constate une différence entre le fragment osseux et l'image,

c'est qu'un prolongement a été oublié dans la cavité fongueuse. Leurs dimensions sont susceptibles d'être mesurées avec exactitude. Nous retrouvons là les mêmes conditions que dans la mensuration des fragments d'une fracture ; les séquestres étant à une certaine distance de la plaque, leur ombre est un peu agrandie, à peu près de 1 millimètre par centimètre.

La radiographie donne des renseignements importants sur la situation des séquestres et permet de les diviser en deux grandes classes, suivant qu'ils siègent dans l'intérieur ou à la surface de l'os, en d'autres termes, suivant qu'ils sont d'origine médullaire ou d'origine périostique. Pour établir ce diagnostic si utile, puisque le pronostic et le traitement en dépendent, il faut prendre l'os malade en position frontale et en position sagittale. S'il s'agit d'un séquestre profond, il apparaîtra dans les deux épreuves comme une géode entourée d'une première zone claire de bourgeons charnus et d'une seconde plus foncée d'os nouveau. Si le séquestre est superficiel, ce qui est fréquent à la face postérieure de l'extrémité inférieure du fémur, on l'apercevra en position frontale, à une certaine distance du cartilage juxta-épiphysaire, sous forme d'un débris déchiqueté se distinguant par sa teinte foncée du tissu voisin, plus pâle et plus transparent, mais sans qu'il y ait de zone très claire, la couche de bourgeons charnus n'envahissant que partiellement l'os sous-jacent. De profil, ce séquestre superficiel formera une lame très foncée, qui, au moins à ses extrémités, sera séparée par un mince espace clair du reste de la couche compacte dont il provient.

Ces séquestres superficiels nécessitent rarement un évidement complet de l'os, qui, dans une partie du moins, reste intact, ainsi que les cartilages juxta-épiphysaires et les articulations voisines. La production d'os nouveau, dont il nous reste à parler, est réduite dans ces cas à son minimum.

Autour des lésions que nous venons de décrire, on voit en effet apparaître le tissu osseux de nouvelle formation, qui aura l'aspect d'une couche uniforme peu opaque, assez cependant pour se distinguer des parties molles, voisines, mais pas assez pour se confondre avec l'os, qui reste toujours parfaitement reconnaissable. Ce tissu nouveau diffère de l'ancien, encore plus par sa structure que par sa transparence. Il est amorphe, d'aspect grenu, et il est impossible d'y apercevoir ni trabécules, ni travées comparables à celles qui existent dans l'os ancien. Au début, il donne lieu à un trouble floconneux ressemblant un peu à celui qui caractérise la première période du cal, mais ici le nuage forme une couche continue à la surface de l'os. Quand il aura acquis une certaine épaisseur, on pourra y voir çà et là quelques espaces clairs dus à des fongosités. Mais le plus souvent il reste homogène.

Cette couche d'os nouveau va se développer d'une manière très irrégulière, suivant l'étendue du point osseux malade, mais dépassera toujours la zone suspecte. Il n'est pas rare, alors que la radiographie montre que les lésions semblent siéger uniquement dans la moitié inférieure du tibia, de

voir la couche nouvelle remonter jusqu'à l'extrémité supérieure de la diaphyse. Mais cette couche ne dépasse pas le cartilage juxta-épiphysaire : elle reste limitée à la diaphyse. Sa distribution sur la circonférence de l'os ne sera pas égale. Elle peut être beaucoup plus épaisse sur une face que sur l'autre ; son développement est, en général, en rapport avec l'étendue et la profondeur des altérations osseuses : très considérable dans une ostéomyélite envahissant toute la diaphyse et donnant des séquestres volumineux, réduite à son minimum, au contraire, s'il s'agit d'un séquestre périostique. La couche sera plus volumineuse à l'endroit où l'on place une mèche ou un drain.

L'os nouveau finira par constituer aux parties malades une gaine dont les modifications ultérieures dépendront du traitement suivi. Si on intervient en l'ouvrant largement pour en retirer les séquestres et les fongosités, elle diminuera ensuite graduellement de volume en devenant plus sombre et en reconstituant un os épaissi, irrégulier et bosselé, mais ayant à peu près la même forme générale que l'ancien. Le tissu nouveau ne paraît plus alors former une couche surajoutée, mais bien l'étui compact du canal médullaire. Dans son tissu grenu et amorphe, on verra fréquemment des taches claires dues à des fongosités.

Si l'on n'intervient pas, on va bientôt apercevoir à la surface de l'épaisse couche osseuse des dépressions plus ou moins circulaires, dans lesquelles on reconnaîtra les orifices qui font communiquer le canal médullaire avec l'extérieur et permettent au pus, et quelquefois à de petits séquestres, de s'éliminer. C'est par ces orifices que la sonde exploratrice pourra pénétrer et montrer s'il y a des séquestres invaginés et s'ils sont mobiles. Quand cette recherche sera négative, la radiographie pourra cependant nous les faire apercevoir, soit dans l'intérieur de l'os, soit en voie d'élimination, soit au milieu des parties molles.

Si l'écoulement du pus se fait librement, la zone claire qui sépare ces séquestres de leur enveloppe peut devenir assez étroite, mais la couche épaisse nouvelle conservera une très grande épaisseur.

On comprend de quelle utilité seront ces divers renseignements lorsqu'il s'agira d'instituer un traitement. La connaissance exacte de la situation des séquestres et de l'étendue des parties malades dirigera l'instrument et tracera la limite de l'intervention sans le moindre tâtonnement.

Il est deux autres renseignements que la radiographie est seule capable de nous donner. Le plus souvent, si l'on intervient à temps dans l'ostéomyélite, le cartilage juxta-épiphysaire reste intact, ainsi que l'épiphyse sous-jacente et, par conséquent, l'articulation voisine. Mais si le diagnostic a été méconnu, la suppuration a pu produire des désordres étendus, le cartilage juxta-épiphysaire a disparu, et l'épiphyse est plus ou moins altérée. Cette destruction partielle n'entraîne pas nécessairement la disparition de la coque qui supporte le cartilage d'encroûtement et peut être évidée en conservant sa forme normale ; on voit alors persister l'interligne articulaire, et

les mouvements sont conservés. Mais à un degré plus avancé, toute l'épiphyse est envahie et s'effondre, elle ne présente plus aucune forme régulière, son tissu devient transparent; l'interligne articulaire disparaît, et l'ankylose ne peut plus guère être évitée.

En nous faisant constater l'étendue et le degré de ces lésions, la radiographie nous permet d'intervenir de bonne heure et d'éviter ainsi des suppurations interminables; il est même vraisemblable que nous pourrons peut-être ainsi, à l'épaule notamment, prévenir l'ankylose par une résection précoce de l'épiphyse détruite.

§ 3. — **Tuberculose des os.**

La tuberculose des os donne lieu à des lésions élémentaires, dégénérescence fibreuse et caséeuse, fongosités, qui sont parfaitement reconnaissables à la radiographie, car elles se laissent traverser par les rayons X plus facilement que le tissu osseux normal. Elles sont disposées en foyers circonscrits qui paraissent sous forme de taches blanches plus ou moins larges, plus ou moins nombreuses, se distinguant parfaitement du tissu voisin, et pouvant se réunir les unes aux autres pour former des plaques très irrégulières. Quand les lésions sont un peu étendues, elles peuvent aboutir à l'effondrement de l'os, ce qui se voit fréquemment dans les os du tarse ou du carpe ; quand elles siègent à la surface, elles l'entament en produisant des échancrures, et s'il y en a plusieurs elles donnent à cette surface une apparence festonnée caractéristique. Les cartilages articulaires disparaissent et ne forment plus, même dans les points qui paraissent sains, leur ligne blanche habituelle.

Le tissu osseux qui entoure ces lésions subit différentes altérations dont l'aspect varie. Tantôt il y a dégénérescence fibreuse et ostéite raréfiante, et, dans ce cas, on voit se dessiner des plaques claires, de forme et de dimensions variables, dont la transparence mesure le degré de disparition de la substance osseuse. Tantôt il se produit de l'ostéite condensante, une véritable éburnation, qui paraît, au contraire, sous forme de taches noires ; ces taches siègent de préférence au niveau des surfaces articulaires et révèlent alors l'existence de ces séquestres condensés, taillés à l'emporte-pièce, qui sont si fréquents dans les tumeurs blanches. Il peut également exister des séquestres parcellaires dans l'épaisseur du tissu spongieux raréfié; mais ces séquestres tuberculeux sont beaucoup moins nets que ceux de l'ostéomyélite, moins bien limités et échappent souvent à l'examen radiographique.

Le périoste ne reste pas inactif, et on voit partir de la surface de l'os des saillies, soit sous forme d'aiguilles fines, de stalactites ou même de simple épaississement de la paroi osseuse. Mais, là aussi, cette production présentera l'irrégularité qui est le caractère propre des lésions tuberculeuses, et cette particularité permettra de distinguer facilement l'épaississement qui peut

se produire dans les parois d'un os tuberculeux de celui que l'on rencontre dans l'ostéomyélite et la syphilis.

Les différentes altérations que nous venons de décrire coïncident presque toujours et se combinent de toutes les manières possibles, de telle sorte qu'un os tuberculeux présente le plus souvent des cavités tuberculeuses, des plaques claires, des taches sombres et des saillies superficielles. Nous pourrons ainsi, non seulement faire le diagnostic de la tuberculose, mais même analyser dans leurs moindres détails les lésions élémentaires, de même que l'auscultation permet d'analyser celles d'un poumon.

Malheureusement, l'examen n'est pas toujours aussi simple qu'on pourrait le croire, d'après cette description un peu schématique, et il peut arriver que des lésions même assez avancées ne soient pas révélées par la radiographie. Oberst cite des cas de tuberculose grave du genou et du calcanéum dans lesquels la radiographie n'avait rien montré d'anormal, alors que l'opération fit voir dans ces os des masses caséeuses du volume d'une noisette. Aussi devrons-nous conclure que, dans la tuberculose des os, la radiographie complètera le diagnostic, mais qu'il ne faut pas compter sur elle pour l'établir.

Les lésions à distance qui se rencontrent soit dans l'os malade, soit même dans les os voisins, et qui consistent en une dégénérescence graisseuse ou muqueuse spéciale, se voient également par la radiographie; le tissu osseux devient plus transparent qu'à l'état normal ; il est facile de mettre cette altération en évidence en radiographiant l'os de l'autre côté.

§ 4. — **Syphilis des os.**

De même que la tuberculose, la syphilis donne lieu à deux altérations différentes du tissu osseux : la raréfaction (ostéoporose) et la condensation (ostéosclérose), ce qui, en radiographie, se traduit par une augmentation de la transparence dans le premier cas, et de l'opacité dans le second. Malgré cette similitude apparente, les lésions syphilitiques se distinguent assez facilement de celles de la tuberculose.

Les taches claires, qui répondent aux gommes, siègent de préférence dans la diaphyse des os longs; elles peuvent se réunir les unes aux autres, mais elles n'entraînent pas l'effondrement de l'os et aboutissent bien rarement à la formation de séquestres. Elles sont presque toujours accompagnées d'une ostéite condensante qui va donner à l'épreuve radiographique son caractère spécial.

Cette sclérose osseuse existe sur un point limité de l'os, et forme alors une saillie fusiforme, lisse, d'un noir foncé sans structure bien déterminée, complètement homogène ou renfermant quelques cavités claires. Mais le plus souvent, cette lésion s'étend sur toute l'étendue de la diaphyse, qui présente un épaississement plus ou moins considérable des parois du canal

médullaire. Ces parois n'ont plus les bords droits et parallèles qu'elles présentent à l'état normal, mais leur épaisseur varie d'un point à l'autre, ce qui leur donne une apparence irrégulière et bossuée.



FIG. 326. — Syphilis du tibia.

Il est à peu près impossible, au moins chez l'adulte, de faire dans cette paroi épaisse la part de l'ancien os et des productions périostiques nouvelles. Cette paroi reste homogène, sans stratifications et sans que sa couche

externe diffère de l'interne. Chez l'enfant, il n'en est pas tout à fait de même, au moins au début : au niveau d'une lésion syphilitique, qui a envahi plus ou moins irrégulièrement une diaphyse, le périoste forme une couche épaisse et distincte de l'os ancien, avec lequel elle se confondra plus tard (V. fig. 326).

Enfin, on ne voit pas dans la syphilis osseuse ces dégénérescences à distance si fréquentes dans la tuberculose. Là où il n'y a pas de lésions syphilitiques, l'os est complètement sain ou, du moins, il ne présente à la radiographie aucun caractère spécial.

On pourrait à la rigueur confondre l'épaississement syphilitique des os avec les vestiges d'une ancienne ostéomyélite, les productions périostiques survenues sous de vieux ulcères, un ostéosarcome central à son début, et même les lésions de la lèpre et de la maladie osseuse de Paget; mais il ne semble pas y avoir là de bien grandes difficultés à faire le diagnostic.

§ 5. — **Lèpre.**

On a observé dans la lèpre différentes lésions osseuses. La plus fréquente est l'extrême transparence des phalanges des doigts, qui, à mesure que l'affection progresse, présentent des sillons, se détruisent graduellement et peuvent complètement disparaître. Les lésions sont plus prononcées sur les dernières phalanges, mais elles atteignent également les autres (Lardy).

En outre, on a observé sur les os longs, et notamment sur les os de la jambe (de la Camp), un épaisissement dû à une véritable périostite ; à ce niveau la paroi du canal médullaire est plus foncée et plus large, mais elle reste régulière et ne présente pas les bosselures de la syphilis.

§ 6. — **Maladie osseuse de Paget.**

Les rares épreuves radiographiques qui ont été publiées montrent que les os déformés présentent un épaississement considérable de leur couche compacte, qui prend une teinte très foncée.

§ 7. — **Acromégalie.**

La radiographie n'apporte aucun fait nouveau dans l'étude de cette affection, mais elle fait mieux connaître les déformations osseuses qui la caractérisent. Elle montre parfaitement la saillie considérable de la protubérance occipitale et l'énorme développement de l'éminence mentonnière et des sinus frontaux.

Les renseignements qu'elle fournit sur les lésions des mains et des pieds sont plus intéressants, car ils portent sur des détails que l'examen extérieur ne permet pas de bien sentir. C'est sur les métacarpiens, les métatarsiens, et

surtout les phalanges, que les déformations sont le plus accusées. D'une manière générale, on peut dire que les épiphyses des phalanges ont subi une augmentation énorme, elles sont très déformées, et certaines présentent à leur surface des irrégularités et même de véritables ostéophytes.

Leur tissu est devenu plus transparent. La diaphyse de ces os est généralement élargie et plus sombre; mais il ne semble pas que ce caractère soit constant. L'extrémité antérieure des métatarsiens est moins opaque (Gilbert, Garnier et Poupinel) qu'à l'état normal. Il existe un élargissement de l'interligne articulaire des articulations du carpe, du métacarpe et des phalanges (Embden), qui tiendrait à un développement exagéré des cartilages articulaires (Schlesinger).

Tout récemment, Beclère a obtenu de très belles épreuves de la tête en position sagittale, sur lesquelles on aperçoit la fosse pituitaire très dilatée, qui se dessine nettement au milieu de la base du crâne.

§ 8. — **Rachitisme.**

Les lésions du rachitisme sont visibles à la radiographie. Les diaphyses paraissent plus courtes et plus grêles à leur partie moyenne ; leurs extrémités sont élargies, et au lieu de se terminer par un plateau lisse et légèrement convexe, présentent une surface irrégulière, un peu concave, comme si le cartilage qui est en connexion avec elles n'avait pu se développer qu'en les refoulant et en les excavant.

Il y a manifestement retard dans le développement des os, et il est facile de le démontrer en comparant ce qui se passe chez un sujet sain du même âge. On constate ainsi que, chez les rachitiques, les épiphyses ne sont pas arrivées à leur degré normal d'ossification, et que les cartilages juxta-épiphysaires restent plus longtemps épais et se soudent tardivement ; les points d'ossification des os du carpe et du tarse sont également un peu lents à paraître. Enfin, il existe souvent, dans la partie de la diaphyse voisine des extrémités, des lignes noires irrégulières, qui semblent résulter d'une sorte de tassement du tissu osseux.

On verra également les fractures et les diverses déformations qui peuvent survenir. Les courbures caractéristiques du rachitisme se voient sans qu'il soit utile de recourir à la radiographie ; cependant, elles seront ainsi connues d'une manière plus exacte, surtout si les os siègent profondément, comme l'extrémité supérieure du fémur. Nous parlerons plus loin du genu valgum et du pied plat, mais nous devons mentionner ici les lésions rachitiques du bassin, qui ont une si grande importance en obstétrique. Non seulement le diagnostic des bassins déformés est possible avec la radiographie, mais, dans leur rapport au Congrès de Moscou, Pinard et Varnier ont montré qu'il était facile de mesurer les diamètres et les dimensions utiles à l'accoucheur. Pour prendre ces épreuves, la femme est étendue dans le décubitus dorsal,

les membres inférieurs rapprochés ; la plaque sensible de 40×50 est glissée sous elle et descend jusqu'à 5 ou 6 centimètres plus bas que la vulve. L'ampoule, placée à 50 centimètres de la plaque, est placée de façon que son miroir corresponde au plan médian du corps et au plan des épines iliaques antérieures et supérieures. Les femmes doivent être non gravides ou grosses de moins de six mois. On peut ainsi voir si le bassin est symétrique ou asymétrique, s'il existe des ankyloses et même si la cinquième vertèbre lombaire a glissé en avant, car, dans ce cas, son apophyse transverse, au lieu de bien se détacher au-dessus du sacrum, porte son ombre sur le sacrum lui-même. Pour obtenir les diamètres, il est nécessaire de comparer les épreuves à des silhouettes-étalons obtenues à l'aide de bassins secs de dimensions connues et placés sur la plaque dans les mêmes conditions que le sujet vivant que l'on veut examiner.

§ 9. — **Crétinisme. Myxœdème infantile.**

Nous pouvons réunir dans un même chapitre ce que nous avons à dire des lésions osseuses du crétinisme et du myxœdème infantile, car il semble aujourd'hui bien établi qu'il s'agit là d'une seule affection due à la même cause, un trouble dans le fonctionnement du corps thyroïde, et caractérisée par des lésions identiques. Nous pourrions dire la même chose du myxœdème des adultes, qu'il survienne spontanément ou qu'il soit consécutif à une ablation du corps thyroïde ; mais on n'observe, dans ce cas, de lésions osseuses que si la maladie a débuté à un âge où le développement des os n'était pas encore terminé.

On pensait jadis que, chez les crétins, il existait une soudure prématurée des sutures et des épiphyses, et on expliquait ainsi leur petite taille et la forme de leur tête (synostose sphéno-occipitale de Virchow). Les recherches modernes, et notamment celles de Langhans, ont montré qu'il n'en est rien et que sur aucun crétin il n'est possible de trouver une seule suture soudée ou un seul cartilage ossifié prématurément. Bien au contraire, on trouve un véritable arrêt dans la croissance des os, dû à une altération spéciale des cartilages, qui a été décrite sous le nom de chondrodystrophie thyreopriva. C'est grâce à la radiographie que cette nouvelle théorie du crétinisme a pu être démontrée chez l'homme, et nous allons voir que ce n'est pas le seul service qu'elle rend dans l'étude de la pathogénie de cette affection.

Lorsque l'on radiographie un crétin, on constate la brièveté des diaphyses, qui répond à la petite taille du sujet, mais on est surtout frappé de la distance qui sépare les os les uns des autres au niveau des articulations. Chez un jeune sujet, les extrémités articulaires osseuses n'existent pas, et on voit à leur place un large espace clair séparant les diaphyses et montrant que les épiphyses sont restées complètement cartilagineuses ; suivant que l'ossification est plus ou moins avancée, on peut y apercevoir un point

osseux de très petites dimensions ou un disque osseux séparé de la diaphyse par un large cartilage de conjugaison. Ces lésions peuvent siéger dans toutes les articulations : elles se constatent bien dans les membres, dans la colonne vertébrale, où les espaces clairs sont plus larges que les nodules osseux des corps vertébraux qu'ils séparent, au tarse et au carpe, où on ne verra que quelques os représentés par des points d'ossification.

Pour avoir une idée précise du retard survenu dans le développement du squelette, il importe de bien connaître la marche de l'ossification normale étudiée à l'aide des rayons Röntgen. Hofmeister, à qui la plupart de ces détails sont empruntés, conseille, ce qui est plus simple, la comparaison avec les épreuves prises sur un sujet sain du même âge.

Cet arrêt de développement présente des degrés variables. Non seulement il se traduit par un retard dans l'apparition des points d'ossification dans le squelette cartilagineux et par la lenteur de l'ossification des épiphyses, mais les cartilages juxta-épiphysaires persistent fort longtemps, et on cite des sujets de quarante-neuf ans (Paltauf), de cinquante-huit ans (His), de soixante et un ans (Schauffhausen), chez qui tous ou presque tous existaient encore. Suivant von Wyss, cette ossification retardée ne se fait pas au hasard, elle suit la marche du développement normal, et les points osseux apparaissent dans leur ordre habituel. Il pose la loi suivante, d'après laquelle aurait lieu cet arrêt de développement : l'état de l'ossification répondrait non à l'âge du sujet, mais à sa taille ; en d'autres termes, le degré de développement d'un os de crétin serait le même que celui d'un os de même longueur sur un sujet sain.

La radiographie était seule capable de renseigner sur cette marche de l'ossification, et c'est à elle que nous sommes redevables de tous les détails précédents. Elle éclaire encore la pathogénie du crétinisme et du myxœdème en montrant le résultat du traitement par l'ingestion de corps thyroïdes. Non seulement tous les symptômes extérieurs s'amendent et le développement osseux reprend sa marche interrompue, mais l'allongement des os se fait avec une activité excessive, bien plus vite que chez un enfant normal de même âge ; il semble que l'ossification veuille rattraper le temps perdu. En même temps que les os s'allongent, leurs extrémités s'ossifient avec leur forme et leurs saillies normales. Hofmeister cite le cas d'un crétin de cinq ans, qui, traité par l'alimentation avec des corps thyroïdes pendant quatre mois, a vu sa taille augmenter de 4 centimètres, tandis que l'allongement normal d'un enfant de pareil âge est de 6 centimètres par an. Gasne et Londe ont présenté en mars 1898, à l'Académie des sciences, un myxœdémateux âgé de dix-neuf ans et haut de 103 centimètres, qui prit soixante et un lobes de corps thyroïdes de mouton en quatre mois, et qui, pendant ce laps de temps, augmenta de 4 centimètres ; les radiographies prises avec beaucoup de soin permirent de constater des progrès considérables dans l'ossification.

Nous ne pouvons entrer ici dans plus de détails, mais on comprend

qu'appliquée à ce cas particulier, la radiographie doit être très minutieuse : il faut noter avec soin l'apparition de chaque point osseux nouveau, l'amincissement et la soudure de chaque lame cartilagineuse, si l'on veut se rendre un compte exact de l'influence du traitement. L'action de l'ingestion du corps thyroïde sur la marche de l'ossification démontre clairement que l'arrêt de son développement est bien dû à une insuffisance des fonctions de cette glande.

§ 10. — **Ostéomalacie.**

La radiographie est un excellent moyen pour faire le diagnostic de l'ostéomalacie. Suivant que les os sont plus ou moins privés de sels calcaires, ils sont plus ou moins transparents. L'os peut être simplement plus clair ; dans un degré plus avancé on voit encore les contours nets, mais la couche compacte ne donne qu'une ombre légère et l'axe de l'os est complètement clair. Enfin, à un degré plus avancé, on n'aperçoit plus aucune ombre ; il est impossible de voir, même vaguement, la place de l'os. Chez un même sujet tous les os ne sont pas également altérés.

§ 11. — **Exostoses ostéogéniques.**

Ces productions ont généralement une structure semblable à celle d'un os normal, c'est-à-dire qu'elles sont formées d'une partie centrale de tissu spongieux et d'une partie corticale de tissu compact ; ces deux couches se continuent avec celles de l'os sur lequel elles sont implantées. Lorsqu'elles sont peu volumineuses, elles peuvent être constituées uniquement par du tissu compact ou du tissu spongieux. Quelle que soit leur structure exacte, elles sont recouvertes d'une mince couche de tissu cartilagineux. La radiographie indiquera le nombre souvent considérable de ces exostoses et leur forme, qui est variable ; presque toujours elles ont l'apparence d'apophyses pointues plus ou moins recourbées. Elle précisera, en outre, leur point d'implantation, qui a toujours lieu au voisinage immédiat d'un cartilage juxta-épiphysaire.

Il peut arriver que ces exostoses donnent lieu à des douleurs vives et ne soient pas senties avec la main ; la radiographie est alors le seul moyen de reconnaître leur existence. Mencière a pu découvrir ainsi chez deux enfants la cause de douleurs et de fatigue dans les genoux dues en réalité à des exostoses du tibia. Lowe a pu de même, chez trois hommes qui accusaient des douleurs du talon pendant la marche, trouver une exostose du calcaneum expliquant cette infirmité.

Il était intéressant de savoir ce que la radiographie nous apprendrait au sujet de la pathogénie de ces exostoses. Deux théories principales sont actuellement en présence : celle de Wolkmann, qui voit là une simple

manifestation du rachitisme, et celle de Bessel-Hagen, suivant laquelle les exostoses multiples constituent une malformation héréditaire spéciale liée intimement au développement du squelette. D'après cette seconde théorie, les cartilages de conjugaison n'ont qu'une puissance ostéogénique limitée, et ce que l'os gagne transversalement en néoformations il le perd en longueur ; en d'autres termes, plus un os présentera d'exostoses volumineuses, plus il sera court. Cette loi de Bessel-Hagen, tout en étant généralement vraie, semble contredite par un certain nombre de faits (Reich, Schüler).

Hoffa a présenté à la Société médicale de Wurtzbourg la radiographie complète d'un sujet atteint d'exostoses multiples. Cette observation, jusqu'à présent unique, nous donne des renseignements pour élucider le problème. Ce qui frappe surtout, c'est l'ossification prématurée des cartilages juxta-épiphysaires, car, bien que le sujet n'ait que seize ans, c'est-à-dire un âge où presque tous ces cartilages doivent exister encore, tous ont disparu chez lui, à l'exception d'un mince vestige de ligne épiphysaire de l'extrémité inférieure du radius. L'existence des exostoses marche de front avec la disparition des cartilages, et cette coïncidence, rapprochée de la brièveté anormale des os soudés prématurément, rend bien vraisemblable l'opinion suivant laquelle une certaine quantité de matériaux destinés à l'allongement des os a, par suite d'un trouble particulier de la ligne épiphysaire, donné lieu à un développement transversal.

Non seulement les os sont raccourcis, ils sont en outre déformés, mais ces déformations ne ressemblent en rien à celles qui sont dues au rachitisme. Par suite de la production des exostoses latérales, l'os n'augmente pas également sur toute sa circonférence : certaines parties croissent plus vite que d'autres; de là des courbures et des déviations; en même temps il y a atrophie des épiphyses, arrêt de développement des diaphyses; lorsque ces lésions intéressent deux os liés l'un à l'autre, comme à la jambe ou à l'avant-bras, elles ne progressent pas également; on comprend donc la complexité des déformations qu'un examen superficiel pourrait à la rigueur rattacher au rachitisme, mais que la radiographie en sépare absolument.

L'anomalie la plus accusée et aussi la plus constante, puisqu'elle avait été déjà signalée avant l'emploi de la radiographie, porte sur les os de l'avant-bras. Chez le malade de Hoffa, le cubitus est courbé et raccourci ; son épiphyse inférieure, très atrophiée, s'arrête à une certaine distance du poignet; un peu au-dessus de la ligne épiphysaire à peine indiquée, on voit deux exostoses irrégulières saillantes ; le radius, beaucoup plus long s'est courbé pour suivre le cubitus; son extrémité inférieure, seul point du squelette qui présente encore un reste de cartilage, est très épaissie ; son extrémité supérieure est déviée en dehors, tandis que de l'autre côté existe une exostose.

Ces déviations et courbures des os peuvent entraîner certaines infirmités : une main bote, un genu valgum, un pied plat, sans que le rachitisme y soit pour rien. S'il joue un certain rôle, c'est peut-être en agissant dans la première enfance, pour déterminer une évolution pathologique des cartilages

épiphysaires, mais son influence n'apparaît plus dans le développement ultérieur de la maladie.

§ 12. — **Tumeurs des os.**

Ainsi que nous l'avons vu pour la plupart des processus morbides intéressant les os, les néoplasmes apparaissent généralement à la radiographie sous forme de taches claires indiquant les parties où s'est développé le tissu pathologique, la transparence et la disposition de ces taches étant en rapport avec le degré et la marche de l'envahissement du tissu osseux.

Dans un rapport sur les tumeurs des os présenté au Congrès de chirurgie de 1899, Pollosson et Bérard ont indiqué les renseignements que la radiographie fournissait et les services qu'elle pouvait rendre dans l'examen et le diagnostic des tumeurs.

On peut décrire trois types principaux :

1° *L'ostéosarcome central* donne lieu à une perte de substance taillée comme à l'emporte-pièce, qui peu à peu s'agrandit en détruisant l'os sur une étendue variable, ce qui permet au tissu néoplasique né dans le canal médullaire ou dans le tissu spongieux de se développer au milieu des masses musculaires. La destruction de l'os, qui au début peut être latérale, gagne bientôt toute l'épaisseur de la diaphyse, qui disparaît alors complètement sur une certaine hauteur, et se trouve remplacée par une masse amorphe, où çà et là paraissent quelques débris osseux foncés, et dont les limites très vagues se distinguent mal des parties molles. A leur entrée dans la tumeur les fragments de la diaphyse deviennent plus pâles, plus irréguliers, et se désagrègent insensiblement à mesure qu'ils pénètrent dans le tissu néoplasique ;

2° *Le sarcome périostique diffus* se développe à la surface de l'os avec la même apparence que l'ostéosarcome central ; il se distingue des parties molles voisines par sa coloration un peu plus foncée, qui tient à son infiltration par des dépôts osseux et calcaires. Ce qui le caractérise, c'est d'être traversé dans toute sa hauteur par l'os ayant conservé son intégrité absolue et dessinant son profil net et sombre au milieu de la tumeur plus claire. Cependant, au point où la tumeur a pris naissance, il n'est pas rare de voir de fines aiguilles émanées du périoste et allant se perdre dans le tissu pathologique ;

3° *La tumeur à myéloplaxes* est celle qui donne à l'os l'aspect le plus caractéristique. Le point où elle se développe, généralement une extrémité épiphysaire, est comme soufflé ; les parois de l'os se sont laissé distendre et amincir, continuant à former une coque ininterrompue de tissu compact circonscrivant une cavité globuleuse cloisonnée par des lamelles plus ou moins complètes.

Les questions soulevées par le diagnostic des tumeurs osseuses sont multiples. Y a-t-il néoplasme de l'os ? Quelle est sa nature ? En quel point a-t-il pris son origine ? Existe-t-il des complications ?

La radiographie a souvent permis de distinguer une tumeur osseuse d'une maladie extérieure à l'os. Beck cite deux cas d'anévrisme de l'artère fémorale ayant été pris pour un ostéosarcome du fémur, et dans lesquels la radiographie redressa l'erreur en montrant que l'os était complètement intact.

La confusion est plus fréquente avec des maladies de l'os lui-même. L'ostéomyélite chronique simule parfois une tumeur ; mais ses caractères radiographiques sont assez faciles à reconnaître : la présence d'un séquestre opaque entouré d'une mince zone claire, la formation d'une couche épaisse d'os nouveau ne se voient guère dans un néoplasme.

Le diagnostic avec la syphilis et la tuberculose est plus délicat. La syphilis siège de préférence sur la diaphyse, et elle peut donner lieu à des taches claires ressemblant beaucoup à un ostéosarcome central au début ; mais, dans la syphilis, les taches sont le plus souvent multiples, et il existe, du côté du périoste et du tissu compact, une tendance à l'épaississement et à l'éburnation, tandis que l'ostéosarcome débute presque toujours par un point unique, qui s'élargit graduellement en détruisant l'os, dont le tissu, loin de se condenser, devient plus clair avant de se désagréger.

La tuberculose atteint surtout les extrémités articulaires et même la surface de ces extrémités, ce qui n'est guère le cas pour les néoplasmes. La marche par foyers multiples de petites dimensions et les dégénérescences secondaires à distance ne permettront pas la confusion.

Le diagnostic de la nature de la tumeur repose presque entièrement sur son encapsulement ou son état diffus ; dans le premier cas, il s'agirait d'une tumeur à myéloplaxes ; dans le second, d'un ostéosarcome malin. Cette règle peut être admise en général, mais elle comporte bien des exceptions. La tumeur à myéloplaxes n'est pas toujours encapsulée, elle peut être aussi diffuse qu'un ostéosarcome central. L'enchondrome est bien limité, mais son image présente un état mamelonné particulier. Nous devons parler, à titre de curiosité, de certaines tumeurs rares, telles que le lipome intra-osseux, dont la radiographie ressemble beaucoup à celle d'une tumeur à myéloplaxes (Guéry).

La nature de la tumeur une fois reconnue, la radiographie en précisera le siège. Si l'on est embarrassé pour le connaître dans les régions où se trouvent plusieurs os, une épreuve lèvera de suite la difficulté. Le diagnostic du point de départ dans l'os présente aussi quelque intérêt ; on verra si la tumeur est née dans la diaphyse ou les épiphyses, à la surface de l'os ou profondément. On reconnaîtra de même l'envahissement d'une articulation ou d'un os voisin, la pénétration dans une cavité splanchnique. On conçoit de quelle importance seront ces notions. Un ostéosarcome de l'extrémité supérieure du fémur qui pourrait être enlevé en désarticulant la hanche sera regardé comme inopérable si la radiographie montre que le bassin est envahi. Avant d'être opérée, une tumeur du sternum devra toujours être prise en position sagittale, pour voir si elle a pénétré dans le médiastin et à quelle profondeur, et par conséquent si elle est justiciable d'une intervention.

Le diagnostic des fractures spontanées est intéressant, car on ne sait pas toujours s'il s'agit d'un néoplasme méconnu ou d'une friabilité spéciale du tissu osseux. La radiographie ne laissera pas place au doute en faisant voir si dans le foyer de la fracture les fragments osseux arrivent au contact en présentant des extrémités bien nettes, ou si, au contraire, ils se terminent d'une manière vague, en restant éloignés l'un de l'autre par un espace vide.

Un diagnostic exact des tumeurs osseuses présente un grand intérêt pratique, car c'est lui qui va permettre de résoudre la question d'intervention. Faut-il amputer ? ou peut-on se contenter d'une intervention moins radicale ? On tend aujourd'hui, dans la tumeur à myéloplaxes, à conseiller la conservation et à se contenter d'opérations partielles. Pollosson et Bérard font observer que c'est précisément cette tumeur qui a les caractères radiographiques les mieux définis et qu'on risque tout au plus de la confondre avec des néoplasmes encapsulés plus bénins, pour lesquels une intervention limitée est également suffisante. Ils citent à l'appui une épreuve très intéressante d'une tumeur à myéloplaxes de l'extrémité inférieure du radius, pour laquelle Poncet avait pratiqué, deux ans auparavant, un simple évidement ; on y voit l'ancienne coque du néoplasme affaissée sans aucune trace de récidive. La constatation des résultats éloignés de ces sortes d'opérations est encore une des applications de la radiographie.

Elle a encore un autre rôle, c'est de rechercher si, en cas de cancer d'un organe quelconque, il existe dans le squelette des noyaux métastatiques.

Cette généralisation du cancer dans les os est assez fréquente, et comme elle est une contre-indication formelle d'intervention, il est bon de la connaître. Il n'est pas question d'examiner le squelette de tous les cancéreux, d'autant plus que, pour obtenir des renseignements utiles, la radioscopie est insuffisante et qu'il serait nécessaire de recourir à la radiographie. Mais si un malade se plaint d'une douleur ou d'un trouble particulier pouvant faire craindre une lésion en un point du squelette, il sera tout indiqué de le chercher.

Ces cancers métastatiques peuvent siéger dans tous les os, même dans la main et les doigts (Lauenstein) ; mais c'est dans la colonne vertébrale qu'ils se développent peut-être le plus fréquemment et avec le plus de rapidité ; les vertèbres envahies sont déformées, et leur architecture intime semble complètement détruite ; on comprend aisément, en voyant ces désordres, qu'une paraplégie subite soit possible.

Terminons en disant que l'anatomie pathologique des tumeurs des os a également bénéficié de la radiographie. On a pu les étudier mieux qu'on ne pouvait le faire avec des coupes. On voit leur cloisonnement et la répartition du tissu néoplasique dans les trabécules du tissu osseux ; les tumeurs des maxillaires montrent comment des dents plus ou moins normales sont disposées dans leur épaisseur. On a pu aussi étudier de cette manière la distribution des vaisseaux dans ces tumeurs à l'aide d'injections poussées dans le système artériel.

CHAPITRE III

MALADIES DES ARTICULATIONS

PREMIÈRE SECTION. — LÉSIONS TRAUMATIQUES DES ARTICULATIONS. LUXATIONS

Les luxations ont moins bénéficié que les fractures de la découverte de Röntgen. Leur diagnostic clinique est en général plus facile, et leur réduction se reconnaît à des signes qui ne trompent guère. Les luxations sur lesquelles, pour des motifs divers, nous désirerions le plus avoir des renseignements, celles de la hanche et de l'épaule, ne peuvent, en raison de leur position à la racine du membre, être radiographiées dans le plan sagittal : on ne peut les prendre que dans le plan frontal, et par conséquent les déplacements de l'extrémité supérieure du fémur et de l'humérus dans le sens antéro-postérieur ne seront pas ou seront peu visibles.

Il serait injuste cependant de dire que la radiographie, appliquée au diagnostic et au traitement des luxations, n'offre qu'un intérêt de curiosité : assez souvent elle décèle une luxation qui avait échappé. En outre, elle a fait voir que certaines luxations, qui étaient considérées comme exceptionnelles, l'étaient moins qu'on ne le supposait. Depuis six ans elle a permis de réunir plus de cas de luxation isolée du cubitus en arrière, de luxation médiocarpienne, de l'articulation de Chopart, qu'on n'en avait publié auparavant.

La radiographie prend une grande importance dans les luxations se compliquant d'une fracture de l'extrémité articulaire. N'y eût-il qu'un petit éclat de la surface de l'os, la connaissance de cette lésion minime est utile, car elle peut constituer un obstacle mécanique à la réduction, ou retarder le rétablissement des mouvements.

Nous avons déjà cité un exemple de ce genre en parlant des fractures de la tête humérale dans les contusions de l'épaule ; nous aurions pu ajouter dans les luxations. Nous en trouvons un autre dans les arrachements osseux qui compliquent les luxations du coude. Il est nécessaire de con-

naître ces lésions dès le début. Le coude est, avec le cou-de-pied, l'articulation dont les traumatismes exigent le plus impérieusement l'emploi de la radiographie ; ses lésions sont si souvent cachées par le gonflement de la région et elles deviennent si vite incurables qu'on serait inexcusable de ne pas recourir dès le début à ce moyen de diagnostic.

Malheureusement la radiographie ne nous renseigne pas sur les causes les plus communes d'irréductibilité. Elle nous montre bien un os accroché dans un autre ou une esquille empêchant le contact de deux surfaces articulaires; mais l'irréductibilité tient le plus souvent aux parties molles : ligaments, tendons, muscles, et ces parties sont traversées par les rayons X sans qu'une ombre, même légère, en décèle la présence. Nous voyons bien la tête d'un radius luxé en avant, mais nous ne savons pas pourquoi nous ne pouvons réussir à réduire cette tête, qui, sur l'épreuve, semble prête à rentrer à sa place normale.

Dans les luxations anciennes, les ligaments et les tendons arrachés peuvent avoir entraîné quelques parcelles périostiques qui ont produit des masses osseuses reconnaissables sur l'image radiographique. Bien que l'ombre soit à peine marquée, elle n'en indique pas moins un obstacle, souvent insurmontable, à la réduction. Dans certaines articulations, ces néoformations se produisent avec une rapidité surprenante. Au milieu de l'opacité diffuse constituée par ces dépôts osseux de nouvelle formation, on peut voir des points plus foncés, qui sont des parcelles d'os ancien. Dans les luxations du coude, il est fréquent d'apercevoir une de ces taches sombres, c'est l'apophyse coronoïde.

Quand la luxation n'a pas été réduite, la radiographie nous fait assister à la production d'une néarthose. On aperçoit sur le point où repose l'os luxé un épaississement qui va constituer la cavité articulaire nouvelle. On peut voir chez les enfants se constituer une coque osseuse beaucoup plus complète ; c'est, du moins, ce qu'il nous a été possible de constater dans une luxation de l'extrémité supérieure du radius six mois après le traumatisme.

Nous devons, en terminant, dire quelques mots de certaines luxations pathologiques.

Dans la luxation congénitale de la hanche, la tête fémorale est déformée, le col raccourci et toute l'extrémité supérieure du fémur remontée dans la fosse iliaque, où se voit la nouvelle cavité cotyloïde. Quant à l'ancienne, elle se présente sous différents aspects : parfois presque normale, le plus souvent peu profonde et largement évasée à sa partie supérieure, elle peut n'offrir qu'une surface aplatie sur laquelle la tête fémorale sera difficilement maintenue, si on parvient à la réduire.

On conçoit de quelle importance vont être ces notions lorsqu'il sera question d'instituer un traitement. Que l'on ait recours à l'opération de Hoffa ou à la méthode non sanglante, on trouvera là des indications précieuses sur les manœuvres à exercer pour opérer la réduction, ainsi que sur la position

à donner au membre. On fera bien, pendant les premiers mois, de prendre à plusieurs reprises la radiographie pour voir dans quelle mesure la luxation est réduite et si le déplacement ne se reproduit pas. C'est par ce moyen seulement qu'on a pu apprécier à leur juste valeur les différentes méthodes de traitement.

La radiographie permet enfin de constater l'existence de luxations spontanées survenant dans différentes maladies.

Dans les luxations secondaires de la coxalgie, une déformation notable des surfaces articulaires coïncide presque toujours avec le déplacement du fémur. En outre, des foyers tuberculeux apparaissent sous forme de taches claires disséminées dans la tête ou le col du fémur ; enfin, toute la diaphyse fémorale paraît plus transparente aux rayons X.

DEUXIÈME SECTION. — LÉSIONS NON TRAUMATIQUES DES ARTICULATIONS

§ 1er. — **Arthrites aiguës.**

Les arthrites aiguës ne présentent au début rien d'anormal, mais à mesure que l'épanchement augmente et que la synoviale s'épaissit, on voit l'articulation se dessiner en teinte plus sombre au milieu des parties voisines. Cette teinte varie un peu suivant la nature du liquide ; il semble que le pus soit moins opaque que la sérosité simple.

On peut obtenir artificiellement une ombre plus épaisse en utilisant une injection pratiquée dans un but thérapeutique avec un liquide tenant en dissolution de l'iodoforme ; la cavité articulaire paraît alors très distincte, la coloration noire en marquant bien les limites. Ce moyen ne sera naturellement employé que dans des cas exceptionnels, et il ne semble pas appelé d'ailleurs à servir beaucoup au diagnostic.

La synoviale enflammée s'aperçoit souvent sous forme d'une bande foncée, qui marque les limites de la jointure, mais le rôle de la radiographie est à peu près nul pour la connaissance de ses lésions.

Elle est beaucoup plus utile pour nous renseigner sur l'état des extrémités articulaires. Au début, alors qu'il y a simplement un épanchement liquide dans l'articulation, l'ombre qui en résulte, en se projetant sur les os, leur donne une teinte plus foncée, qu'il ne faudrait pas prendre pour un commencement d'ostéite condensante. Les lésions que nous apercevons du côté des extrémités osseuses diffèrent suivant la nature de l'arthrite. S'il s'agit d'une infection très aiguë, on peut voir se produire assez rapidement, en moins de deux mois, des désordres profonds. Des taches claires paraissent, isolant des séquestres foncés ; les os peuvent se luxer ; chez les jeunes sujets, on constate fréquemment le décollement des épiphyses, qui restent en rapport avec l'articulation, tandis que la diaphyse se déplace.

Si l'inflammation est moins aiguë, les lésions osseuses marchent plus lentement ; elles varient d'ailleurs et peuvent même manquer, comme dans l'arthrite blennorrhagique. Ce qui nous intéresse surtout, c'est ce que devient l'interligne articulaire. A l'état normal, la couche cartilagineuse qui recouvre les extrémités osseuses est en général assez épaisse et, comme elle est transparente aux rayons X, elle forme avec celle qui lui est opposée une bande claire, large et régulière, qui sépare les deux os l'un de l'autre. Si ces cartilages s'altèrent et s'amincissent, l'interligne devient plus étroit et peut même disparaître s'ils sont complètement détruits ; l'ombre des deux os se confond alors sans qu'on puisse voir entre eux la moindre séparation. Mais il est bien rare que le contact soit aussi intime ; presque toujours il reste des vestiges de la surface articulaire, que la radiographie indique par des lignes claires au milieu de la teinte foncée générale ; même si les cartilages ont disparu, l'interligne est le plus souvent reconnaissable ; mais, au lieu d'être transparent, il présente une teinte grise floconneuse, non homogène, plus claire que celle du tissu osseux.

En même temps que l'absence de l'interligne, il importe de noter l'état de la mobilité, car sa disparition est le seul signe certain de l'ankylose. Cette dernière ne présente aucun caractère radiographique constant. Elle peut coïncider avec la destruction totale des cartilages ; mais ce n'est pas là une condition nécessaire. Une adhérence de deux os en un point limité donne lieu à une ankylose, alors que le reste de l'articulation est intact ; au niveau de l'adhérence seulement, l'interligne a disparu. En ce point, le tissu d'un os se continue avec celui de l'os opposé sans aucune ligne de démarcation, bientôt même on voit les travées osseuses passer de l'un à l'autre sous forme de lignes noires, qui, par leur ensemble, forment une bande un peu plus foncée que le tissu voisin.

Les adhérences osseuses, en projetant leur ombre sur toute l'articulation, pourraient donner une idée fausse de l'état réel des désordres. Il n'y a pas toujours rapport entre l'épreuve radiographique et les troubles fonctionnels ; dans telle articulation mobile, nous ne distinguerons plus ni cartilage, ni interligne ; tandis qu'une ankylose solide pourra coïncider avec une articulation presque intacte. Aussi est-il nécessaire de prendre, comme dans une fracture, des épreuves dans deux plans différents pour connaître exactement l'étendue de la fusion osseuse. L'union partielle d'une tubérosité du tibia avec le condyle correspondant du fémur peut, sur une vue de profil, cacher complètement l'interligne articulaire et faire croire à une soudure totale, tandis qu'une vue de face montrera que la plus grande partie des surfaces articulaires n'adhère point. C'est ce qui a lieu dans la plupart des ankyloses.

§ 2. — **Rhumatisme chronique.**

L'étude radiographique des lésions articulaires qui surviennent dans le rhumatisme chronique a été faite d'une manière très complète par Barjon,

dès 1897, du moins en ce qui concerne les mains et les pieds. Nous suivrons la description qu'il en a donnée.

Il admet dans leur évolution trois périodes :

1° Au début, toutes les lésions siègent dans l'articulation ; le cartilage articulaire tend peu à peu à disparaître ; en même temps que l'interligne s'amincit, puis s'efface, le tissu osseux des phalanges arrive en contact, et elles peuvent se souder ou se déplacer ;

2° Dans une seconde période, il se produit un étalement, un tassement et un écrasement des extrémités osseuses, qui augmentent de volume et se déforment ; à ce moment leur tissu paraît plus dense ; Potain et Serbanesco ont même pensé qu'il se faisait une véritable ostéite condensante rendant les extrémités articulaires plus opaques ;

3° A cette condensation succède rapidement une raréfaction et une infiltration graisseuse. Les extrémités perdent leur striation nette et prennent un aspect gras, flou, empâté, elles sont comme soufflées. C'est à cette période que surviennent aussi des troubles trophiques qui aboutissent à la résorption complète des extrémités des petits os et notamment des métatarsiens.

La radiographie a permis de suivre ces lésions sur les pièces anatomiques. On a constaté ainsi la disparition du cartilage d'encroûtement, mais la lésion anatomique la plus saillante est le trouble profond qui est apporté à la structure du tissu spongieux. Tandis qu'à l'état normal la disposition des trabécules est parfaitement régulière et obéit à un plan déterminé, nous voyons sur les extrémités osseuses atteintes de rhumatisme chronique les travées osseuses, sans orientation définie, former un réseau embrouillé ; les mailles s'élargissent, communiquent les unes avec les autres et se transforment en lacunes plus ou moins larges et irrégulières, qui s'ouvrent à la surface de l'os et même s'étendent sur l'os voisin, en constituant ainsi des travées d'ankylose. En même temps, le tissu compact s'amincit, devient inégal et moins opaque. Quand ces lésions sont poussées à leur extrême limite, les os sont devenus des coques osseuses dont les cloisons intérieures ont à peu près complètement disparu et qui sont remplies de graisse.

Ces lésions déterminent dans les articulations des déformations, déviations et troubles trophiques qui donnent lieu à une apparence très spéciale, notamment du côté des extrémités.

C'est sur la main que les désordres sont le plus prononcés, et c'est aussi sur elle qu'ils sont le plus faciles à étudier. Nous y retrouvons les lésions que nous avons décrites tout à l'heure : extrémités osseuses volumineuses et déformées, à surface irrégulière, à tissu spongieux raréfié et lacunaire ; phalanges déviées et ankylosées. Mais il ne faudrait pas croire que toutes les articulations sont prises en bloc et indifféremment : plusieurs d'entre elles, et même des doigts entiers, restent parfaitement intacts, et nous trouvons fréquemment dans cette répartition, en apparence irrégulière, la symétrie notée en clinique.

Les articulations qui sont prises ne le sont pas toutes à un égal degré et

avec des lésions identiques. Sur un même doigt, une articulation peut être intacte et une autre ankylosée en position vicieuse. Si l'on remonte dans l'histoire clinique du malade, on trouve facilement l'explication de ces différences. Toute déformation, qui aujourd'hui est devenue une infirmité essentiellement chronique, a été précédée à un moment donné par une inflammation aiguë et douloureuse, qui a pu durer plusieurs semaines. L'examen radiographique d'une main de rhumatisme noueux prend ainsi un grand intérêt, en nous montrant, dans ces lésions d'âge différent, des traces qui correspondent à des symptômes éprouvés antérieurement et nous renseignent sur les étapes successives de la maladie.

Les déformations visibles à l'œil ne sont pas en rapport avec la gravité des lésions visibles à la radiographie, car souvent les déviations ont une cause musculaire et non osseuse, et elles échappent alors aux rayons X. Une des plus fréquentes, l'extension exagérée de la deuxième phalange sur la première, coïncide fréquemment avec la conservation du cartilage et de l'interligne articulaire; on aurait pu le penser en voyant cette articulation difforme rester parfaitement mobile. Cette mobilité n'est cependant pas une preuve que les parties essentielles de l'articulation soient intactes. Les articulations métacarpo-phalangiennes de l'index et du médius, qui présentent si souvent une déformation et une déviation très accusée, et qui, dans ce cas, paraissent à la radiographie formées par des extrémités volumineuses, difformes, n'offrant plus trace de séparation et semblant entièrement confondues l'une avec l'autre, peuvent très bien rester mobiles, à notre grand étonnement ; nous retrouvons ici la difficulté du diagnostic radiographique de l'ankylose.

Il ne semble pas que les désordres se produisent nécessairement avec la régularité et dans l'ordre que nous avons indiqués tout à l'heure, et notamment qu'ils débutent toujours par les cartilages articulaires, car sur les articulations extrêmement déformées et présentant tous les caractères du rhumatisme chronique confirmé, il n'est pas rare de trouver les cartilages articulaires conservés.

Les articulations du carpe sont souvent altérées, et, dans ce cas, tout le massif est envahi, les os sont confondus entre eux, on ne voit plus leur contour, ou bien il apparaît sous forme d'une ligne noire indiquant la soudure. L'extrémité du radius peut être augmentée de volume, et elle repousse alors le cubitus et le carpe, en donnant lieu à une déviation de la main.

Nous pourrions répéter pour le pied ce que nous venons de dire pour la main : nous retrouvons les mêmes lésions de phalanges et les mêmes déviations. Toutefois, Barjon attribue au rhumatisme chronique une lésion atrophique dont il nous donne des exemples, et qui paraît spéciale au pied : c'est la résorption complète de la tête des métatarsiens ; la diaphyse de ces os se termine en fuseau, l'épiphyse a disparu, il y a un vide à sa place. A priori la nature rhumatismale de cette atrophie semble douteuse, car elle ressemble beaucoup plus à ce que nous connaissons des arthropathies de cause ner-

veuse. La radiographie, unie à la clinique, élucidera probablement ce point.

Du côté des grandes articulations, les arthrites du rhumatisme chronique présentent les mêmes lésions; mais, comme elles sont situées plus profondément, leur analyse minutieuse sera moins facile. Comme ces articulations ont des pressions assez fortes à supporter, les extrémités osseuses raréfiées et devenues graisseuses s'effondreront facilement, en même temps les saillies osseuses périphériques augmenteront, et nous verrons ainsi se constituer peu à peu l'affection décrite sous le nom d'arthrite déformante.

La radiographie nous montrera ces profonds désordres, dont l'apparence varie pour chaque articulation, ce qui s'explique par le rôle différent de chacune d'elles dans la station et dans les mouvements. Au membre inférieur, qui doit supporter tout le poids du corps, c'est l'écrasement des extrémités osseuses qui domine ; à la hanche, nous voyons la tête fémorale aplatie, le col raccourci et comme écrasé, tandis que le grand trochanter, remonté, est plus saillant et comme refoulé en dehors ; la cavité cotyloïde est souvent méconnaissable. Au membre supérieur, les extrémités sont simplement déformées et épaissies. Mais partout il se fait une ossification péri-articulaire, sous forme de saillies et de jetées osseuses qui partent du pourtour des surfaces articulaires et présentent une teinte très foncée.

§ 3. — Nodosités d'Heberden et nodosités de Bouchard.

On désigne depuis longtemps sous le nom de nodosités d'Heberden de petites saillies dures, plus ou moins saillantes, développées sur les côtés ou sur la face dorsale des extrémités phalangiennes avec lesquelles elles paraissent faire corps, se montrant de préférence au niveau des articulations phalangino-phalangettiennes, mais se voyant aussi sur les articulations phalango-phalanginiennes.

Les auteurs diffèrent d'opinion sur la nature exacte de ces productions : les uns y voyant une manifestation de la goutte, les autres pensant que ce sont des lésions du rhumatisme chronique. Comme les caractères radiographiques de ces deux affections n'ont rien de commun, il semblait qu'on possédait là un moyen de résoudre le problème sans la moindre hésitation. Cette espérance n'a été réalisée qu'en partie, car, tandis que Potain et Serbanesco ont trouvé que les nodosités d'Heberden donnent l'apparence des taches transparentes arrondies de la goutte, Barjon prétend ne les avoir jamais vues ainsi, et il les décrit comme étant constituées par des bourrelets osseux, nés de la phalange même, et coïncidant avec toutes les lésions du rhumatisme chronique, et nullement avec celles de la goutte. Cette opinion paraît généralement acceptée aujourd'hui. La radiographie montre que ces nodosités ne sont autre chose que des végétations exubérantes du tissu osseux, dont elles présentent tous les caractères; elles sont très irrégulières,

tantôt épaisses, tantôt minces et grêles; leur fragilité peut être telle qu'elles se brisent facilement, et que leurs fragments constituent alors de petites masses foncées, isolées de l'os, qui ressemblent à des os sésamoïdes.

Quant aux saillies noueuses signalées par Bouchard, au niveau des articulations des premières avec les deuxièmes phalanges, et regardées par lui comme ayant une connexion avec la dilatation de l'estomac, elles sont, d'après Le Gendre, constituées par une saillie des tubercules osseux, que la radiographie montre clairement dans les cas typiques, alors que, dans d'autres, ces tubercules osseux paraissent conserver leur volume normal.

§ 4. — **Goutte.**

La goutte est essentiellement caractérisée par les tophus, ou dépôts d'urate de chaux, qui se font dans les parties molles et dans les os, sous forme de masses plus ou moins volumineuses parfaitement transparentes aux rayons X, et qui, par conséquent, sur les épreuves, sont invisibles et paraissent comme des taches blanches dans le tissu osseux.

Les cavités creusées dans les os par les concrétions tophacées sont généralement arrondies ; elles peuvent être traversées par des travées osseuses qui les cloisonnent plus ou moins complètement ; leurs bords sont nets, comme taillés à l'emporte-pièce, et le tissu osseux qui les entoure conserve sa structure normale ; cependant, il nous paraît présenter, plus qu'on ne l'a dit, un certain degré de condensation dans le voisinage des lésions.

Les taches blanches caractéristiques du tophus peuvent se réunir et former alors des plaques plus irrégulières, mais où le contour circulaire se retrouve plus ou moins. Quand la tache siège près de la surface de l'os et l'entame, la perte de substance prend la forme d'une échancrure.

C'est surtout dans les épiphyses que se trouvent ces lésions, et c'est là qu'elles prennent leur plus grand développement, grâce à la présence du tissu spongieux. On peut cependant en voir dans les diaphyses, mais là le tissu compact forme une barrière plus solide, et presque toujours le tophus se développe vers la surface ; aussi est-ce plutôt sous forme d'échancrures, et non de trous, que la lésion paraît.

Le tophus reste longtemps purement osseux, et ce n'est qu'après avoir perforé les extrémités osseuses et leurs cartilages que l'articulation est envahie et s'altère. L'arthrite de la goutte est donc toujours secondaire, et les lésions articulaires restent relativement limitées; les surfaces osseuses sont irrégulières, mais on ne voit ni déviations ni luxations.

Barjon insiste sur la différence énorme qui existe entre l'aspect d'une main goutteuse et son image radiographique. Tandis qu'à la vue on a une main difforme, avec doigts noueux, renflés, chargés de tophus, à la radiographie, toutes ces déformations disparaissent, et on a un squelette ne différant de l'état normal que par les taches blanches dont il est par-

semé; à part quelques irrégularités des surfaces, les articulations ont à peu près leur apparence habituelle et sont rarement déviées.

Enfin, on n'observe pas dans la goutte les lésions à distance, si fréquentes dans le rhumatisme et surtout la tuberculose. Le reste du squelette conserve son opacité normale.

Le diagnostic de la goutte confirmée est facile, et la radiographie ne lui sera pas d'un grand secours. Cependant, grâce à elle, on peut découvrir des dépôts crétacés au niveau des articulations des orteils, bien avant que l'on puisse affirmer l'existence de la goutte. Rodman cite le cas d'un homme de 38 ans, chez qui il put faire ainsi un diagnostic précoce, avant qu'il ne présentât des signes bien francs de la maladie.

C'est surtout dans le diagnostic avec le rhumatisme chronique que la radiographie pourra rendre service. Nous avons vu que, dans cette dernière maladie, les troubles débutent par les articulations, et même par les cartilages, et que, assez rapidement, des désordres graves : subluxations, luxations, ankyloses, se produisent de ce côté; en même temps les os se déforment, présentent des inégalités et des saillies, s'épaississent, et leur tissu subit une altération profonde portant sur la structure intime et se traduisant en radiographie par l'état flou et l'irrégularité du réseau trabéculaire.

Dans la goutte, nous venons de voir que le tableau est totalement différent, puisque les articulations ne sont prises que tardivement et à un faible degré; ce sont les os qui présentent les lésions primitives, et encore, les taches et les encoches caractéristiques laissent intacte la forme générale du squelette.

§ 5. — Arthropathies nerveuses.

Les désordres articulaires signalés par Charcot dans un certain nombre de maladies du système nerveux central ont été examinés à l'aide de la radiographie, et nous aurons là un moyen d'étudier dès le début des lésions qui jusqu'ici n'avaient pu l'être qu'à un degré déjà avancé. C'est surtout dans le tabes et dans la syringomyélie que ces observations ont été faites.

Tabes. — Les lésions visibles à la radiographie sont le résultat de deux processus en apparence contradictoires. Il y a raréfaction, usure, et finalement disparition des extrémités articulaires; en même temps nous voyons se produire autour de l'articulation une végétation osseuse exubérante, sous forme d'ostéophytes et de masses calcaires qui envahissent non seulement la capsule articulaire, mais encore, les muscles voisins.

Le processus destructif porte principalement sur les extrémités articulaires; leur cartilage disparaît, et leur tissu osseux subit une sorte de raréfaction, invisible à la radiographie (car elle est cachée par les dépôts calcaires périarticulaires), mais qui est démontrée par les déformations consi-

dérables et même par l'effondrement complet de ces extrémités , de là des subluxations ou même des luxations complètes. A la hanche, nous voyons fréquemment la tête fémorale aplatie, collée directement sur la face interne du grand trochanter, le col ayant complètement disparu; ou bien le col est fracturé, et la diaphyse s'est luxée dans la fosse iliaque. Au genou, les condyles sont plus ou moins déformés, l'un des deux, subluxé, peut chevaucher sur l'une des faces du tibia, tandis que celui qui reste en contact avec le plateau articulaire s'est écrasé d'une longueur égale à celle du chevauchement ; la rotule est souvent invisible, soit parce qu'elle est atrophiée, soit parce qu'elle est perdue dans la coque osseuse. Au pied, nous trouvons les os du tarse, ayant perdu leur limite précise, et confondus les uns avec les autres, formant une masse unique. L'extrémité antérieure des métatarsiens s'étire en fuseau, les phalanges sont aussi en partie résorbées, et même peuvent disparaître.

Cette destruction osseuse ne porte pas exclusivement sur le tissu des extrémités ; elle peut intéresser les diaphyses ; de là des fractures spontanées. Mais nous ne connaissons pas d'exemple de ces fractures radiographiées à l'état récent ; celles qui ont été publiées datent de plusieurs semaines, et les caractères du tissu osseux, qu'il serait intéressant de connaître au moment de la rupture de l'os, sont alors cachés par le travail de consolidation.

C'est surtout la néoformation osseuse qui paraît à la radiographie. Elle présente une activité excessive, et elle envahit toutes les parties constitutives de l'articulation ; la capsule est transformée en une coque osseuse épaisse, qui paraît sous forme de taches sombres irrégulières et d'opacité variable, ne reproduisant que d'une manière assez vague la forme de la synoviale normale. Nous distinguerons de la même manière les ostéophytes, qui partent directement de l'os, les jetées osseuses, qui prennent la place des ligaments, les dépôts calcaires, qui se font dans les tendons et les muscles, parfois même dans un point du muscle éloigné de l'articulation.

Il est bien difficile, sinon impossible, de reconnaître, dans les taches sombres et irrégulières des épreuves, ce qui appartient à chacun de ces éléments ; on ne voit généralement que la forme et le degré de l'ossification ; parfois cependant un prolongement foncé indique l'envahissement d'un muscle ou d'un ligament.

Le tissu des extrémités osseuses, au lieu de se raréfier, peut aussi s'épaissir et devenir très dur, ce que l'on reconnaît lorsqu'on a l'occasion de pratiquer des résections sur ces articulations ; la radiographie peut révéler cette transformation, qui se traduit par une teinte plus foncée de l'os ; mais ce renseignement n'a de valeur que pour une pièce anatomique : sur le vivant, on risque toujours de confondre cette opacité avec l'ombre portée par une capsule articulaire ou un muscle ossifié.

Wilms a tenté d'éclairer par la radiographie la pathogénie de ces arthropathies tabétiques. Contrairement à l'opinion de Charcot, qui admet un rapport de cause à effet entre le tabes et la lésion articulaire, il se range à

l'avis de Wolkmann et de Virchow, qui voient là une arthrite déformante vulgaire, dont les désordres ne sont beaucoup plus graves que par suite de l'anesthésie et de l'ataxie du tabétique qui en est atteint. Quoi qu'il en soit de cette manière de voir, qui paraît très contestable, il est certain que les lésions sont exactement les mêmes dans les deux cas ; à part la déformation beaucoup plus prononcée des extrémités osseuses et l'exubérance toute particulière des ostéophytes et de la myosite ossifiante, il serait difficile de dire si l'épreuve d'une arthrite déformante a été prise sur un tabétique ou non.

Wilms montre tout le parti que l'on peut tirer de la radiographie pour expliquer la marche du double processus qui détermine les lésions. La déformation et l'usure des extrémités osseuses tiendraient uniquement aux pressions qui s'exercent sur les os. C'est là une théorie qui s'applique bien aux arthrites coxo-fémorales, dans lesquelles la tête fémorale s'effondre contre la diaphyse, ou le col se brise en laissant remonter la diaphyse au-dessus de la tête restée en place. Wilms nous offre un exemple plus probant de l'action des pressions mécaniques, en nous montrant l'épreuve d'un genou tabétique subluxé, dans lequel le condyle interne, n'étant plus en rapport avec le tibia, a conservé toute sa longueur, tandis que le condyle externe, qui seul transmet le poids du corps à la jambe, est écrasé sur une hauteur de 2 à 3 centimètres.

L'ossification de la capsule articulaire, des ligaments, des tendons et des muscles, dont la radiographie permet au moins de voir la distribution générale, aurait également une explication mécanique. Ce seraient les parties fibreuses et les faisceaux ligamenteux, sur lesquels s'exercent les tractions les plus violentes, qui présenteraient les calcifications les plus épaisses ; ce seraient aussi les muscles agissant le plus dans les mouvements de l'articulation malade qui tendraient surtout à s'ossifier, soit au contact de la jointure, soit à distance.

On voit par là quel champ d'étude la radiographie ouvre sur ce point spécial.

Syringomyélie. — Dans la syringomyélie, le processus est un peu différent, et on n'observe pas les ossifications exubérantes du tabes ; les lésions aboutissent à la destruction complète de l'articulation et à la disparition des extrémités osseuses sur une assez grande étendue.

L'épaule est souvent atteinte, parfois des deux côtés. La tête humérale déformée se détache spontanément, se déplace et se résorbe peu à peu. La résorption peut s'étendre à la diaphyse, qui, sur une épreuve de Maydl, a disparu dans ses 10 ou 12 centimètres supérieurs; l'os se termine dans ce cas par une facette lisse.

L'articulation du coude peut aussi être prise (Hahn). Mais c'est à la main que s'observent les désordres les plus caractéristiques et les plus constants. Les métacarpiens et les phalanges présentent des taches claires disséminées, existant surtout au niveau des épiphyses. S'il survient un panaris analgé-

sique, on voit la phalange malade devenir irrégulière à la surface ; son extrémité est déchiquetée ; on peut aussi voir dans l'épaisseur du tissu osseux des taches sombres indiquant de l'ostéite condensante.

§ 6. — **Corps mobiles articulaires.**

Les corps mobiles des articulations donnent à la radiographie des résultats qui varient suivant leur structure ; s'ils sont purement cartilagineux ; ils ne sont pas visibles aux rayons X, bien qu'on puisse parfaitement les sentir par la palpation ; mais s'ils sont osseux, au moins partiellement, ils apparaissent sous forme de petits nodules, plus transparents que les os, mais plus opaques que les parties molles. Leur ombre est si légère qu'elle ne se verrait pas si elle était superposée à celle d'un os ; aussi est-il nécessaire de les prendre dans une position telle qu'ils puissent se dessiner sur un fond clair. Il est difficile de poser pour cela des règles fixes, puisque la position du corps étranger est essentiellement variable ; cependant, au genou, qui est l'articulation le plus souvent atteinte, c'est la radiographie prise de profil qui donnera presque toujours les résultats les plus utiles.

Ces restrictions montrent qu'on ne devra pas trop compter sur cette méthode pour établir le diagnostic, car elle peut ne pas révéler la présence d'un corps mobile parfaitement réel, et nous allons voir tout à l'heure qu'elle peut faire croire à l'existence d'un de ces corps, alors qu'il n'y en a pas. Cependant elle donne souvent des renseignements précieux, non seulement sur l'existence et sur le siège du corps étranger, mais aussi sur son point d'origine. Bramann a montré au 69e Congrès des naturalistes et des médecins allemands une épreuve sur laquelle on voyait dans le genou un débris flottant possédant très nettement la structure osseuse, tandis que sur le fémur on distinguait une brèche ayant exactement la même forme ; il était évident que le fragment libre provenait de ce point.

Il est une autre difficulté qu'il faut connaître, car elle a été la cause de nombreuses erreurs. Les articulations sont entourées de ligaments et de tendons dans lesquels peuvent se développer des concrétions ou des os sésamoïdes, qui donnent à la radiographie exactement la même apparence qu'un corps mobile. Au genou, ces os sésamoïdes accidentels sont assez fréquents et siègent en arrière de l'articulation, à peu près au niveau du ligament postérieur. Wildt, qui le premier a signalé cette cause d'erreur, a trouvé quatre fois cette disposition sur un total de 147 radiographies qu'il a prises du genou, soit 2,7 p. 100. Il avait tout d'abord pris lui-même ces taches sombres pour des corps étrangers, mais c'est, en les retrouvant accidentellement sur des sujets qui n'avaient jamais souffert du genou, qu'il fut amené à reconnaître qu'il s'agissait en réalité d'os sésamoïde siégeant dans un tendon de l'un des muscles de la région poplitée, probablement dans celui du demi-tendineux.

C'est la position de ces taches sombres en arrière de l'articulation qui permettra de faire le diagnostic ; si en même temps elles se trouvent à 1 ou

2 centimètres au-dessus de l'interligne articulaire, on devra bien plutôt croire à un os sésamoïde qu'à un corps mobile. N'étant pas vues en plan frontal, on ne saura pas quel point elles occupent dans le sens de la largeur du membre. Elles ont en outre une forme particulière, et sont soit régulièrement ovales, soit aplaties sur leur face antérieure et convexes en arrière, mais toujours leur grande dimension sera dirigée de haut en bas, c'est-à-dire suivant l'axe du



FIG. 327. — Os sésamoïde simulant un corps mobile du genou.

tendon où elles siègent. On aura soin de prendre l'épreuve rigoureusement dans le plan sagittal, car l'on peut voir ainsi que ces ombres sont à une certaine distance de l'articulation, et jamais appliquées contre un os ; il n'en serait pas de même si l'incidence était oblique.

En se servant de la radioscopie on pourra constater la mobilité de l'os sésamoïde pendant la contraction du muscle, ou en imprimant à son tendon des mouvements passifs avec le doigt.

Enfin, on devra, en cas de doute, prendre la radiographie du côté opposé, car les os sésamoïdes accidentels sont souvent symétriques, et la constatation d'une tache identique sur le genou sain permettrait de poser le diagnostic avec certitude.

§ 7. — **Arthrites tuberculeuses.**

Ce que nous avons dit de la tuberculose des os nous permettra d'être

bref dans ce chapitre, car c'est surtout dans les extrémités articulaires que siègent les lésions ; celles de la synoviale sont généralement secondaires ; il s'agit d'ostéo-arthrites bien plutôt que d'arthrites.

Les résultats donnés par la radiographie sont variables ; ils peuvent être complètement négatifs, et des articulations atteintes de tumeur blanche assez avancée ne montrent rien d'anormal sur l'épreuve. Mais parfois nous voyons des lésions caractéristiques à un moment où l'articulation semble à peine malade et où seule la radiographie permet de faire un diagnostic précoce.

Le plus souvent, l'articulation atteinte donne une ombre foncée occupant toute l'étendue de la cavité articulaire et dont les limites sont tantôt diffuses, tantôt assez nettement dessinées par une ligne plus noire formée vraisemblablement par la synoviale épaissie. Dans cette zone obscure, on peut apercevoir des taches irrégulières d'aspect floconneux, mais les renseignements que nous pouvons obtenir ainsi sur l'état des parties fibreuses et l'épanchement articulaire sont bien vagues, et ils seraient à peu près inutilisables si nous n'avions pas en même temps ceux qui nous sont fournis par l'examen des extrémités osseuses.

De ce côté, nous trouvons les désordres caractéristiques de la tuberculose des os ; l'infiltration tuberculeuse peut donner lieu à une teinte blanchâtre de toute l'extrémité ou à des foyers multiples paraissant sous forme, soit de taches claires, soit de taches sombres entourées d'une zone claire, suivant la répartition des fongosités ou des séquestres ; des lignes noires indiquent l'existence de séquestres éburnés. Il n'est pas rare de voir la lame périostique qui recouvre les épiphyses et la partie voisine de la diaphyse s'épaissir sur une certaine étendue, cela nous a semblé plus particulièrement fréquent dans les arthrites du coude.

L'interligne articulaire, plus sombre qu'à l'état normal, est moins distinct des surfaces osseuses, devenues irrégulières et plus floues ; il pourra s'élargir si ces surfaces se désagrègent et s'effritent ; les modifications qui se produisent de ce côté sont en rapport avec la marche des fongosités, qui s'étendront de la synoviale à l'os, en donnant aux parties envahies une teinte plus uniforme.

Lorsque la raréfaction et la destruction du tissu de l'épiphyse seront suffisamment avancées, le cartilage diarthrodial pourra s'effondrer, et les deux extrémités articulaires, plus ou moins écrasées, subiront, pour s'adapter l'une à l'autre, des déformations multiples rappelant celles de l'arthrite déformante. Si, au contraire, les désordres sont restés limités à la surface des os, les extrémités conservent leur forme générale, mais leurs aspérités s'émoussent, et leur contour s'use.

A ce moment, deux choses sont possibles : ou bien il se forme des abcès périarticulaires produisant des taches sombres, qui le deviendront encore davantage et seront mieux limitées, si on a l'occasion de les injecter avec de l'huile iodoformée ; en même temps, on assiste à des déplacements multiples des os les uns sur les autres, subluxations, luxations en train de se produire, néarthroses ; ou bien, ce qui est beaucoup plus ordinaire, les sur-

faces articulaires déformées, irrégulières, privées de leur cartilage, adhèrent l'une à l'autre et donnent lieu aux différentes variétés d'ankylose que nous avons étudiées plus haut; en même temps des jetées osseuses périphériques consolident la soudure.

La diaphyse des os soudés prend une teinte notablement plus claire par suite d'un trouble dystrophique qui atteint plus ou moins l'ensemble du squelette.

Ces considérations générales s'appliquent à toutes les ostéo-arthrites tuberculeuses. Nous devons ajouter cependant quelques détails particuliers pour deux d'entre elles : la coxalgie et le mal de Pott.

Coxalgie. — La radiographie montre le point de départ de l'affection : synoviale, cavité cotyloïde, tête et col du fémur, ce qui présente un certain intérêt pour l'intervention. On voit parfaitement les échancrures marginales et l'existence des séquestres. En même temps que la déformation des surfaces articulaires, on suivra le glissement du fémur vers la fosse iliaque, l'élargissement de la cavité cotyloïde, surtout par en haut, l'usure de son bourrelet, et l'on pourra se rendre compte de l'imminence de la luxation. Redard a donné dans son atlas plusieurs épreuves montrant une voussure à convexité interne, dans le point de l'excavation pelvienne qui répond au fond de la cavité cotyloïde malade. Il insiste sur la teinte claire de la diaphyse fémorale, qui sera rendue plus frappante en la comparant à celle du côté sain.

Mal de Pott. — Les lésions du mal de Pott confirmé ne diffèrent pas de celles que nous avons étudiées dans les autres ostéo-arthrites tuberculeuses. Disparition de cartilages, affaissement des corps vertébraux, ombre des abcès par congestion, plus tard soudure des vertèbres, jetées osseuses périphériques, telles sont les principales lésions que nous fait voir la radiographie et que nous pourrions presque aussi bien diagnostiquer sans elle.

Mais, au début, le diagnostic clinique est souvent assez difficile, et l'affection peut rester méconnue; il n'est pas rare de confondre les douleurs en ceinture du mal de Pott avec une névralgie intercostaler ; ladaiographie empêche l'erreur en faisant voir les lésions vertébrales. C'est ainsi que, chez un malade dont il a communiqué l'observation à la Société médicale des hôpitaux, Merklen a reconnu qu'une névralgie rebelle existant depuis plusieurs années était due à la compression des racines nerveuses par un mal de Pott siégeant au niveau de la troisième vertèbre dorsale.

On peut aussi, par cette méthode, se rendre compte de l'effet des tentatives de redressement de gibbosités de la colonne vertébrale. Hoffa a spécialement étudié de cette façon les résultats de l'opération de Calot, et il a constaté que les vertèbres malades, en s'enfonçant les unes dans les autres, diminuaient les pertes de substance du corps de l'os, et que les brèches résultant du redressement de la colonne vertébrale étaient moins grandes qu'on aurait pu le supposer ; il a vu, en outre, sur les épreuves, l'ossification se développer sur la face antérieure des vertèbres et constituer ainsi un moyen d'union solide.

CHAPITRE IV

AFFECTIONS DIVERSES DES OS ET DES ARTICULATIONS

Nous parlerons dans ce chapitre de quelques affections de nature indéterminée, caractérisées par des troubles de l'ossification et qui, pour cette raison, ont été assez souvent rattachées au rachitisme, bien que leurs lésions ne coïncident pas toujours avec celles de cette maladie.

Les déformations osseuses qui existent en pareil cas sont bien connues, et les signes cliniques en font suffisamment reconnaître la disposition et le degré. Il est toutefois permis de dire que la radiographie donne une plus grande précision à l'anatomie pathologique de ces affections et pourra probablement éclairer leur pathogénie encore obscure ; elle est également très utile pour poser les indications et apprécier les résultats du traitement orthopédique et de l'intervention sanglante.

§ 1. — **Scoliose.**

La radiographie est d'une réelle utilité pour le diagnostic de la scoliose ou, du moins, pour la connaissance précise de la déformation, toujours complexe, des vertèbres. Joachimsthal fait observer que les procédés habituellement employés en clinique pour mesurer les incurvations du rachis, en nécessitant la station debout, mettent en jeu l'action musculaire, et comme ils exigent, même entre les mains les plus exercées, un minimum de 4 ou 5 minutes et souvent beaucoup plus, ils ne donnent pas des résultats rigoureusement comparables. Les clichés radiographiques, au contraire, obtenus dans le décubitus horizontal, c'est-à-dire en résolution musculaire, évitent, au moins en partie, cet inconvénient; ils complèteront très heureusement l'examen fait à l'aide des autres méthodes.

On peut prendre des épreuves en position sagittale et en position frontale, mais c'est dans cette dernière qu'elles seront le plus utiles. Le sujet est placé en décubitus dorsal, le dos regardant la plaque et en étant séparé par de

l'ouate remplaçant les creux laissés par la gibbosité, de manière que l'immobilité puisse être maintenue sans fatigue pendant le temps de pose nécessaire. Le tube sera placé assez loin pour éviter les déformations trop grandes des parties de la colonne vertébrale frappées obliquement par les rayons. Enfin, il est nécessaire de mettre très exactement un point de repère au niveau de la normale, afin de pouvoir obtenir des épreuves comparables.

Joachimsthal, pour faciliter la mensuration et l'examen des images, conseille de fixer sur les épreuves un quadrillage avec cases numérotées. C'est l'application à la radiographie de la méthode qu'Œhler avait imaginée pour la photographie des scoliotiques.

Les épreuves radiographiques nous permettent d'apprécier les deux principales déformations de la colonne vertébrale : l'incurvation et la torsion.

Dans son excellent *Traité des Déviations de la colonne vertébrale*, Redard décrit les modifications qui peuvent porter sur le corps, le pédicule et l'arc vertébral. Ce sont surtout les déformations du corps qui sont visibles, notamment celle qui lui donne la forme d'un coin dont le sommet tronqué est dirigé du côté de la concavité. La soudure des vertèbres, les productions osseuses périphériques, si importantes à connaître pour apprécier le degré de curabilité de la déviation se voient également sous forme de taches noires reliant deux vertèbres, mais leur image est trop vague et trop inconstante pour qu'on puisse baser sur elle un diagnostic solide.

La torsion de la colonne se traduit par un déplacement de la ligne des apophyses épineuses, dont l'ombre s'écarte plus ou moins des corps vertébraux. Hoffa insiste sur ce fait que les radiographies montrent nettement la grande disproportion qui existe souvent entre l'incurvation et la torsion du rachis.

Enfin, la radiographie peut faire connaître la nature exacte de certaines scolioses congénitales dues à une anomalie de la colonne vertébrale. Il est probable que la lésion n'est pas toujours la même. Dans la seule observation que nous connaissions jusqu'à présent, et qui a été recueillie par Mouchet dans le service de Broca, il s'agit d'un coin osseux supplémentaire interposé latéralement entre la première et la deuxième vertèbre, qui avaient une conformation absolument normale.

La radiographie appliquée avec précision a aussi une grande valeur pour contrôler le traitement. Des épreuves prises à plusieurs mois d'intervalle nous permettront d'apprécier l'influence des moyens employés. Il ne faut cependant pas exagérer l'importance de ce contrôle, car, ainsi que le fait observer Redard, si cette méthode donne certaines indications utiles sur la déformation des vertèbres, elle ne présente pas le sujet dans son attitude habituelle, et surtout elle ne peut donner une vue d'ensemble sur le tronc et les membres inférieurs, élément essentiel à connaître pour apprécier le degré de la scoliose.

Le même auteur insiste sur l'utilité de la radiographie pour étudier la structure de la vertèbre scoliotique sur des pièces anatomiques, et il nous

donne dans son livre un certain nombre de très belles épreuves démontrant, mieux que ne pourraient le faire des coupes, l'augmentation de la densité du tissu osseux du côté concave. Pour obtenir ces épreuves, on place la vertèbre de manière que le corps vertébral repose exactement sur la plaque photographique, l'apophyse épineuse regardant en haut.

§ 2. — Coxa vara.

La radiographie tient une place importante dans l'étude de la coxa vara, car, bien que cette affection présente des signes cliniques permettant de la reconnaître sans y recourir, elle n'en est pas moins utile et parfois même indispensable pour établir le diagnostic et, dans tous les cas, elle nous donne des renseignements sur le sens et le degré de la déformation osseuse.

Pour bien apprécier son rôle, il est nécessaire d'avoir une connaissance exacte des lésions anatomiques que présente l'extrémité supérieure du fémur dans la coxa vara. Ces lésions sont complexes et portent principalement sur trois éléments, l'angle d'inclinaison, l'angle de déclinaison et la torsion du col. La radiographie nous renseigne parfaitement sur les deux premiers facteurs, qui sont de beaucoup les plus importants.

L'angle d'inclinaison, formé par la rencontre de l'axe du col avec l'axe de la diaphyse, est à l'état normal de 125 à 130°. La radiographie permet de mesurer cet angle, que nous voyons dans toutes les épreuves du bassin prises d'avant en arrière, le sujet étant placé dans la position habituelle, c'est-à-dire dans le décubitus dorsal. Hofmeister estime que, dans cette position, le col du fémur apparaît généralement raccourci, le col et la tête se superposant en partie, et il conseille de prendre les clichés en faisant coucher le sujet sur le ventre. Il est également important de noter le degré de rotation du membre, car les auteurs diffèrent sur la meilleure position à donner, les uns préférant mettre le membre dans le maximum de rotation interne, d'autres dans une position intermédiaire à la rotation interne et à la rotation externe.

Sur les épreuves prises en position frontale, on verra toutes les modifications de l'angle d'inclinaison, qui, plus ou moins diminué, peut devenir droit, aigu, et même ne plus former qu'une encoche. Sur les mêmes épreuves, on notera également l'élévation du grand trochanter par rapport à la tête, l'inclinaison de cette dernière, l'allongement du bord supérieur du col et le raccourcissement de son bord inférieur.

On reconnaîtrait, en se plaçant dans les mêmes conditions, la déformation inverse, encore peu connue d'ailleurs, dans laquelle l'angle d'inclinaison augmente et qui a été désigné sous le nom de coxa valga (Mauclair).

L'angle de déclinaison est également modifié dans la coxa vara. On désigne sous ce nom l'angle dièdre formé par la rencontre de deux plans verticaux, l'un passant par l'axe du col, l'autre, transversal, passant par l'axe de la diaphyse.

Il était plus difficile de fixer, par la radiographie, les changements survenus dans cet angle, car il s'agit là d'une courbure du col fémoral d'avant en arrière, de telle manière que sa face antérieure bombe en avant et que sa face postérieure s'excave, et il faudrait, pour mettre en évidence cette incurvation, pouvoir recevoir sur la plaque les rayons X traversant le fémur de bas en haut, problème qui, au premier abord, paraît insoluble, vu la disposition anatomique de la hanche. C'est ce que paraît avoir cependant réussi à faire Lauenstein en radiographiant d'avant en arrière le sujet couché sur le dos, avec la cuisse fléchie et portée en abduction aussi loin que le degré de déformation le permet. On obtient ainsi des épreuves sur lesquelles on voit, entre la tête et le grand trochanter, une encoche qui n'est autre chose que la projection de l'angle anormal de déclinaison. Lauenstein a démontré que la radiographie prise dans cette position donne réellement la projection verticale du contour de la face postérieure du col, car en radiographiant dans les mêmes conditions un sujet normal, il a constaté que l'axe du col continuait exactement l'axe de la diaphyse, sans faire aucun angle avec lui, ce qui ne peut avoir lieu que si les rayons X sont dirigés parallèlement à cet axe. On a pu ainsi reconnaître la déformation caractéristique du col en vertu de laquelle le grand trochanter se rapproche en arrière de la tête fémorale. On chercherait de la même manière la déformation inverse, beaucoup plus rare, dans laquelle la face antérieure du col se creuse et sa face postérieure se bombe.

La radiographie est destinée à rendre de grands services dans le diagnostic de la coxa vara. Avant que cette affection ne fût décrite, elle était confondue avec les autres maladies de la hanche.

Le plus souvent, c'était avec une coxalgie. Nous n'avons pas besoin d'insister beaucoup pour montrer que la radiographie, en pareil cas, ne peut laisser un seul instant de doute. Les lésions anatomiques de ces deux affections ne se ressemblent en aucune manière. L'incurvation caractéristique du col dans un cas, dans l'autre les foyers tuberculeux du fémur et de l'os coxal, l'usure des surfaces articulaires, parfois une luxation spontanée, la transparence anormale de la diaphyse, rendent le diagnostic facile.

Nous pouvons dire la même chose de la luxation congénitale de la hanche, qui a été encore plus souvent confondue, à cause de l'indolence relative et de la boiterie spéciale qui offre une certaine analogie dans les deux cas. Mais dans la coxa vara, non seulement le col est incurvé, mais la tête fémorale est bien à sa place, tandis que, dans la luxation congénitale, la cavité cotyloïde, plus ou moins évasée, est vide, et la tête fémorale, également atrophiée, est déplacée. Il est des cas cependant où le diagnostic peut être délicat, ceux par exemple où, comme l'a indiqué Kirmisson, il s'agit d'une laxité congénitale de l'articulation coxo-fémorale n'allant pas jusqu'à la luxation.

Le diagnostic radiographique de la coxa vara, avec l'arthrite déformante et la fracture du col, est souvent beaucoup plus difficile, tellement même

qu'on a été jusqu'à prétendre que non seulement ce diagnostic était parfois impossible, mais que certains cas de coxa vara étaient symptomatiques de l'une de ces deux affections.

Dans l'arthrite déformante, il existe généralement des déformations osseuses multiples, variables, portant non seulement sur le fémur, mais encore sur le bassin ; en outre, on voit des dépôts irréguliers se faire sur les os, dans le voisinage ou en dehors de l'articulation.

Toutefois, Maydl a montré des épreuves d'arthrite déformante qui simulent absolument la coxa vara et pour lesquelles le diagnostic reste incertain.

Nous dirons la même chose de la fracture du col du fémur. Depuis que Royal Whitman a montré que ces fractures n'étaient pas rares chez les enfants, on en a observé un certain nombre. Si l'on fait la radiographie dès le début, le diagnostic est relativement facile, mais, comme il s'agit souvent de fractures en bois vert, et même parfois de simples inflexions du col, on conçoit qu'au bout d'un certain temps, ces cas simulent absolument une coxa vara.

Il semblerait que les déformations rachitiques habituelles de l'extrémité supérieure du fémur dussent ressembler, au moins dans une certaine mesure, à celles de la coxa vara, puisqu'on en a fait une manifestation du rachitisme. Il n'en est rien, ainsi que l'a fait remarquer Charpentier, qui a examiné, avec Kirmisson, les os rachitiques du musée Dupuytren. La radiographie arrive au même résultat et ne montre ordinairement, chez les rachitiques les plus avancés, qu'une légère diminution de l'angle d'inclinaison et aucun changement dans l'angle de déclinaison, c'est-à-dire rien de semblable aux incurvations extrêmes de la coxa vara. Souvent, cependant, la coxa vara coïncide avec un rachitisme confirmé.

En réalité le diagnostic radiographique de la coxa vara, en général facile, est parfois impossible, et cette difficulté soulève le problème de la pathogénie. Y a-t-il une entité morbide distincte, comme l'ont pensé ceux qui l'ont décrite les premiers, ou ne faut-il pas voir là une déformation commune à des affections diverses ? L'anatomie pathologique n'a pas jusqu'à présent résolu la question d'une manière définitive ; la radiographie, en permettant d'observer la hanche malade aux différentes phases de l'affection, donnera vraisemblablement des résultats plus probants.

La radiographie fournit, en outre, d'utiles indications sur le traitement à instituer : traitement orthopédique et intervention sanglante ; s'il y a lieu de pratiquer une ostéotomie, la connaissance exacte du siège de l'incurvation du col sera utile pour indiquer le niveau où l'on devra appliquer le ciseau ou la scie. La radiographie fera voir également si, après l'opération, les fragments sont en bonne position, s'ils ne chevauchent pas l'un sur l'autre. Enfin, c'est elle qui pourra dire s'il y a lieu de réséquer la tête fémorale.

§ 3. — Genu valgum.

La radiographie indique d'une manière précise la déviation angulaire du genu valgum et permet de la mesurer. L'angle léger, saillant en dedans, que forme à l'état normal le fémur avec le tibia, s'accusera de plus en plus à mesure que la maladie s'aggravera, et il pourra être figuré exactement par la rencontre des axes des deux os. L'interligne articulaire est régulier dans toute sa largeur, il ne présente aucun élargissement latéral, la déformation est donc bien due uniquement au développement du tissu osseux, et le cartilage diarthrodial n'y prend aucune part.

Mais sur quels os porte-t-elle? Jusqu'ici il était généralement admis que l'extrémité inférieure du fémur était seule atteinte et qu'elle présentait un allongement hypertrophique du condyle interne, tandis que l'externe était un peu aplati ; en outre, la partie voisine de la diaphyse était incurvée avec concavité dirigée en arrière et en dehors.

Cette disposition classique se rencontre sur un certain nombre d'épreuves; l'allongement du condyle se voit en position frontale, et l'incurvation de la diaphyse en position sagittale. Mais il semble que les os de la jambe soient aussi souvent altérés que le fémur. Morton, s'appuyant sur l'étude radiographique de six cas, a même cru pouvoir conclure que le genu valgum tenait non à une lésion fémorale, mais à une incurvation du tibia en dehors siégeant immédiatement au-dessous de la tête de l'os et coïncidant avec une incurvation analogue du péroné portant sur une grande partie de la diaphyse, qui de la sorte se rapproche du tibia vers sa partie moyenne.

C'est là une exagération manifeste tenant au petit nombre des cas observés. D'après nos radiographies personnelles et celles que nous avons trouvées dans les nombreux atlas publiés, il semble que les déformations du genu valgum siègent tantôt sur le fémur (description classique), tantôt sur le tibia (description de Morton), le péroné ne se courbant que secondairement, pour suivre ce dernier os.

Redard a signalé un retard dans la consolidation des cartilages et une transparence plus grande des diaphyses. Il semble que cette coïncidence de lésions rachitiques ne soit pas constante: bien souvent l'ossification présente son degré normal.

La connaissance plus exacte que nous possédons de l'anatomie pathologique nous permet de mieux poser les indications opératoires. Suivant que les déformations portent sur le fémur ou le tibia, c'est sur l'un ou l'autre de ces os qu'il faut intervenir. Le degré de redressement à opérer nous sera donné par la mesure de la déviation angulaire du genou. Il n'est pas jusqu'au choix du procédé qui sera dicté par la radiographie, car suivant le siège et l'aspect de la déformation osseuse, c'est à l'ostéotomie linéaire ou à l'ostéotomie cunéiforme que nous aurons recours, la dimension du coin à enlever et le point à sectionner étant faciles à déterminer.

L'opération une fois faite et le membre immobilisé dans une attelle plâ-

trée, nous examinerons le résultat obtenu. Au premier abord il surprend un peu. En voyant après une ostéotomie sus-condylienne l'angle formé par la diaphyse fémorale et l'extrémité inférieure refoulée en dedans, il semble que le membre opéré doit être beaucoup plus difforme qu'auparavant. Pour apprécier à sa juste valeur l'intervention, il ne faut pas s'arrêter à cette déformation apparente, mais voir la direction des os : la diaphyse fémorale doit avoir à peu près la même direction que la diaphyse tibiale. En pratique, cette condition n'est remplie que d'une manière très imparfaite, et malgré cela les opérés marchent bien ; mais, la radiographie permettant de s'y conformer, il est préférable de le faire.

Les épreuves nous font voir en outre qu'après l'ostéotomie, les fragments peuvent fort bien ne pas rester au point où la conception schématique du redressement à effectuer le prévoyait : on les voit se déplacer latéralement, ou se pénétrer, ou même chevaucher. Leur consolidation se fait avec un minimum de cal. Il y a tout lieu de penser que cela tient à ce qu'il y a eu là un très léger traumatisme et que le périoste est presque intact.

§ 4. — **Pied plat.**

Les désordres osseux et articulaires que l'on observe dans le pied plat valgus douloureux sont loin d'être toujours identiques ; la radiographie démontre qu'ils peuvent intéresser les divers os et articulations du tarse sans qu'aucun d'eux soit caractéristique. Nous n'avons pas à rechercher ici sous quelle influence ils se développent, s'ils sont primitifs ou secondaires, mais simplement comment ils se présentent dans les épreuves radiographiques.

C'est généralement au niveau des articulations sous-astragalienne et médio-tarsienne que les lésions sont le plus marquées, ainsi que sur les os voisins. Il existe très souvent une subluxation de l'astragale qui a subi un mouvement de rotation autour de son axe antéro-postérieur, et dont la tête fait une forte saillie en dedans. Le calcaneum peut aussi présenter de graves altérations. E. Vincent, d'Alger, a publié une épreuve dans laquelle cet os, devenu horizontal, offre un allongement excessif de son extrémité postérieure, tandis que son extrémité antérieure est abaissée. Chez un de mes malades, au contraire, le tarse postérieur paraissait intact, mais le 3[e] cunéiforme était détruit et confondu avec les os voisins sans la moindre ligne de démarcation ; la lésion avait envahi aussi l'articulation du cuboïde avec les métatarsiens dont l'interligne avait disparu.

En résumé, pour que la voûte du pied conserve sa concavité normale, il faut que tous les éléments qui le constituent soient normaux ; dès qu'un des os du tarse ne possède plus la résistance nécessaire, cette voûte s'affaisse.

Pour mettre en évidence des lésions à siège variable, il faudra prendre un certain nombre d'épreuves. Celles en position sagittale et en position frontale sont les plus utiles, mais peuvent être insuffisantes ; on sera presque

toujours obligé d'employer des incidences obliques pour apercevoir les différents interlignes articulaires du tarse et pour reconnaître la rotation de l'astragale.

§ 5. — **Hallux valgus.**

Cette petite infirmité a aussi été étudiée à l'aide de la radiographie, et tout récemment Loison a énuméré les principaux renseignements que fournissait cet examen.

L'angle formé par le premier métatarsien et la phalange, qui à l'état normal est à peine sensible et mesure 160°, se ferme un peu. L'extrémité antérieure du premier métatarsien ne présente ni épaississement, ni entorse, la saillie du bord interne du pied tient uniquement à son glissement en dedans. Les phalanges s'inclinent en dehors en se subluxant sur ce métatarsien ; en même temps elles subissent un mouvement de rotation sur leur axe qui porte leur face dorsale un peu en dedans, ce qui se traduit sur l'image radiographique par la situation des os sésamoïdes, dont les ombres se rapprochent et tendent à se superposer, à mesure que le mouvement de rotation se prononce. L'interposition de ces petits os tend à écarter l'une de l'autre les têtes des deux premiers métatarsiens.

Docteur Maunoury,
Chirurgien de l'hôpital de Chartres.

III. — SYSTÈME VASCULAIRE

Le système vasculaire central ayant été traité dans un autre chapitre, nous n'aurons que peu de mots à dire sur le système vasculaire périphérique. Dans ce dernier cas, il est bon de distinguer l'état physiologique de l'état pathologique.

A l'état physiologique, il n'a pas été possible, jusqu'à ce jour, d'obtenir sur la plaque sensible ou sur l'écran radioscopique les ombres des vaisseaux du système vasculaire périphérique chez le sujet vivant.

A l'état pathologique et dans le cas d'artério-sclérose, les clichés montrant des artères paraissent être très rares. Carl Beck (1) rapporte l'observation, accompagnée d'une radiographie, d'un malade dont l'artère radiale a laissé sur le cliché une ombre très nette, étroite, désignant absolument son trajet et aussi marquée, sinon plus, que celle des os voisins. La cubitale n'ayant laissé aucune trace sur la plaque, l'auteur conclut que l'artério-sclérose était limitée à la radiale, ce qui concordait d'ailleurs avec l'absence des autres signes d'artério-sclérose généralisée.

Quelques mois plus tard, nous avons obtenu deux clichés que M. le professeur Imbert a présentés à la Société de biologie (2), sur lesquels on apercevait des troncs artériels. L'un de ces clichés, obtenu sur un cadavre non injecté, montrait nettement les deux artères radiale et cubitale, que l'on pouvait suivre même dans les régions où leur ombre radiographique se superposait à celle des os.

L'autre cliché obtenu sur le vivant montrait la tibiale antérieure, que l'on pouvait suivre sur une certaine étendue. Le sujet était d'ailleurs un vieillard. Mais les cas où les artères ont été aperçues sont encore trop peu nombreux pour que l'on puisse espérer les obtenir à coup sûr dans l'état actuel de la radiographie.

Mais si les cas analogues sont encore bien peu nombreux, l'emploi des rayons X a, d'autre part, rendu de précieux services à l'anatomie pour l'étude du trajet des artères, des veines, des lymphatiques.

« Je pense, dit Fredet, dans son travail sur les artères de l'utérus de la

(1) *New-York med. Journ.*, 22 janvier 1898.
(2) *Société de biologie*, 11 juin 1898.

femme, que la radiographie est un moyen de recherche supérieur à ceux anciennement employés : dissection et corrosion. Elle permet l'usage d'injections très pénétrantes, dépassant les limites de ce que peut isoler le scalpel ou fournir la corrosion. Elle évite ces opérations, longues, délicates et trop souvent mutilantes. Elle donne un document impersonnel, obtenu mécaniquement, où sont représentés tous les plans et dont on peut, avec le stéréoscope, montrer la superposition. »

La méthode est simple, elle consiste à injecter dans les vaisseaux à étudier un corps opaque ou du moins suffisamment opaque aux rayons X, ainsi que M. le professeur Marey l'a le premier proposé. Il semble d'abord que le mercure doive être une excellente substance à injecter, puisque son opacité aux rayons X est considérable et qu'il est injectable à froid. Néanmoins, son emploi ne peut être recommandé d'une façon générale, car il peut déterminer des ruptures vasculaires. D'autre part, le mercure est peu pénétrant, il déforme les réseaux, rend les pièces ainsi injectées difficilement maniables. Des fuites se produisent de tous côtés au moment de l'injection et après, si bien que les réseaux injectés sont quelquefois vidés en partie ou en totalité au moment où l'on veut les radiographier. Il n'est pas possible, en outre, de faire des coupes dans une pièce ainsi préparée.

On peut substituer au mercure diverses substances qui, tout en étant suffisamment opaques, ne présentent pas les inconvénients que nous venons de signaler.

MM. Rémy et Contremoulins (1) ont employé la poudre de bronze en suspension dans la cire à cacheter, dissoute dans l'alcool et injectée à froid. Ils ont injecté ainsi les artères de la main.

M. Delore (2) a utilisé la masse de Teishmann au vermillon et le mercure liquide pour étudier les divisions de la veine ombilicale dans le placenta.

MM. Destot et Bérard (3) se sont servis de la poudre de bronze et de l'argent réduit en suspension dans le suif ainsi que de l'onguent napolitain.

M. Frédet, dans ses recherches sur les artères de l'utérus de la femme, a injecté l'onguent mercuriel double du Codex surchargé de mercure. Voici, d'ailleurs, la technique suivie (4) par l'auteur. L'onguent mercuriel double du Codex, qui contient poids égaux de mercure et d'axonge, et qui avait été préconisé par M. Destot, n'est pas assez riche en mercure pour la radiographie. En effet, quand la pose est quelque peu prolongée, ce qui souvent est

(1) Emploi des rayons X pour les recherches anatomiques, angéiologie, développement; ossification, évolution des dents. *C. R.*, 2 novembre 1896.

(2) Radiographie des capillaires de la veine ombilicale dans les villosités placentaires. *C. R. de la Société de biologie,* 10 avril 1897.

(3) Destot et Bérard, Sur la circulation artérielle du rein étudiée d'après des radiographies, *Société de biologie,* Paris, 21 novembre 1896. — Id., Circulation du corps thyroïde. *Société des sciences médicales de Lyon,* 1897. — Id., Recherches sur la circulation viscérale. Mémoire pour le prix Bourceret. *Académie de médecine,* 1897. — Destot, Circulation artérielle étudiée par les rayons de Röntgen, *Société des sciences médicales de Lyon,* 1897. — L. Bérard, Contribution à l'anatomie et à la chirurgie du goitre. Th. Lyon, 1896.

(4) Frédet, *Journal de l'anatomie et de la physiologie,* sept.-oct. 1899.

nécessaire pour traverser des parties épaisses, les ombres portées par les artères ne s'accusent pas par des blancs suffisamment purs. M. Frédet songea, en conséquence, à surcharger de mercure l'onguent mercuriel double.

« On met à cet effet une certaine quantité d'onguent napolitain dans un mortier, on y ajoute du mercure goutte à goutte, et l'on triture méthodiquement avec un pilon jusqu'à ce que le mercure soit entièrement éteint. On peut ainsi éteindre dans l'onguent napolitain un poids de mercure presque double de celui de l'onguent traité. Il n'est pas avantageux d'en introduire davantage, car la masse se dissocierait dès qu'on l'amènerait à l'état de fusion. Pour obtenir une masse homogène, il faut un brassage de près d'une heure.

« Quand il faut faire l'injection, on met au bain-marie le mortier de porcelaine dans lequel la masse a été pilonée. L'axonge fond à 30° C., et on le retire quand la masse est parfaitement fluide.

« L'onguent se conserve assez longtemps liquide, grâce à la chaleur communiquée par les parois épaisses du mortier. Mais le mercure a tendance à se précipiter ; il est donc avantageux d'opérer le plus tôt possible.

« Au moment de charger la seringue, on mélange bien au moyen du pilon, et cela suffit. Il faut éviter d'aspirer le liquide collecté au fond du vase, car il est très riche en mercure et peut même contenir des gouttelettes de ce métal, ce qui pourrait être une cause d'insuccès.

« Une telle injection, quand elle est employée chaude, qu'elle est faite rapidement et que la pièce est immergée dans l'eau tiède, est merveilleusement pénétrante. Quand on ne veut étudier que les gros troncs, il est préférable de l'injecter lorsqu'elle est devenue un peu pâteuse par refroidissement. On peut ultérieurement parachever l'injection : il suffit pour cela de mettre la pièce dans l'eau tiède et de pousser une nouvelle quantité d'onguent. Les pièces ainsi préparées sont très maniables, l'onguent refroidit, se fige dans les vaisseaux et n'a aucune tendance à les quitter ; la pièce peut être débitée par tranches sans le moindre inconvénient. »

Un procédé plus simple que le précédent, et qui donne également de bons résultats, consiste à injecter dans les vaisseaux du vermillon broyé dans l'essence de térébenthine. Du vermillon très fin est mis dans un mortier, on ajoute de l'essence de térébenthine et l'on broie le tout avec un pilon. La pièce à injecter étant prête, on doit injecter assez rapidement pour éviter le dépôt de la poudre dans la seringue. On abandonne la pièce pendant quelque temps, deux ou trois jours environ. L'essence de térébenthine passe au travers des parois de l'artère, et il ne reste plus qu'une masse pâteuse de vermillon.

On peut alors débiter la pièce par tranches, sans que l'injection quitte les vaisseaux. Ce procédé a l'avantage de pouvoir être employé à froid.

L'essence de térébenthine peut être remplacée par l'alcool tenant en dissolution de la cire à cacheter ou toute autre substance bien pénétrante.

Comme poudre opaque, le chromate de plomb peut aussi être employé.

Les muscles et les tendons, d'une façon générale, ne sont pas visibles sur la plaque. Toutefois, dans les radiographies de la région tibio-tarsienne, on peut suivre sur une assez grande étendue l'ombre portée par le tendon d'Achille, dont l'insertion sur le calcanéum est également visible. Vers la partie moyenne de la jambe, et plus généralement le long de la limite de l'ombre d'un membre, on distingue également le contour de l'ombre propre aux masses musculaires de la région.

Sur un des clichés radiographiques faits à l'hôpital suburbain de Montpellier, et relatifs à un adulte, le ligament rond de l'articulation coxo-fémorale a laissé une trace nette à droite et à gauche.

Sur un autre relatif à une enfant de 3 ans, envoyée à la radiographie pour une tumeur de la jambe, on distingue nettement, sur une étendue de 5 à 6 centimètres, du côté sain, le tendon d'Achille et la masse des muscles qui s'y insère ; du côté malade, on voit le tendon contourner une ombre elliptique, due à la tumeur, de même opacité que les muscles environnants. La tumeur est séparée en haut des masses musculaires par un espace plus foncé, au-dessus duquel on aperçoit l'ombre des masses musculaires comme du côté sain. La pose a été très courte, trois ou quatre secondes, le trembleur marchant à toute vitesse et le tube placé à 50 centimètres.

Sur un autre cliché, encore obtenu sur un enfant de 7 à 8 ans, envoyé à la radiographie pour rechercher s'il n'existait pas, au niveau du genou, des fragments de verre, on voyait autour des épiphyses une ombre de forme régulière donnée par le cartilage, et les tendons qui s'attachent à la rotule étaient en outre parfaitement visibles en haut et en bas.

On voit par ces quelques exemples que les épreuves radiographiques montrent quelquefois les ombres des parties de l'organisme autres que le squelette. La possibilité d'obtenir des renseignements radiographiques extra-osseux autorise à conclure qu'un jour on saura réaliser les conditions précises pour l'obtention de particularités qui n'apparaissent aujourd'hui que dans quelques circonstances heureuses et indépendantes de la volonté du radiographe.

Docteur Gagnière,

Directeur des travaux de physique biologique
à la Faculté de médecine de Montpellier.

IV. — LE THORAX EN GÉNÉRAL

GÉNÉRALITÉS

L'exploration du thorax est au premier rang des applications de la découverte de Röntgen. Le nouveau chapitre de séméiologie dont cette découverte a enrichi la pathologie thoracique est loin de comprendre tous les services rendus au diagnostic médical par les rayons X, mais il en renferme certainement la plus grande et la meilleure part.

L'importance de l'exploration du thorax à l'aide des rayons de Röntgen reconnaît deux causes principales : la disposition d'ordre physique et anatomique qui, parmi tous les viscères, rend particulièrement accessibles au nouveau mode d'examen les organes thoraciques ; l'insuffisance relative des autres procédés d'exploration appliqués à ces organes.

Il s'en faut que les divers viscères contenus dans les trois grandes cavités splanchniques se prêtent également à l'exploration au moyen des rayons de Röntgen. Dans la cavité cranienne, l'encéphale joint au désavantage d'être enfermé dans une boîte osseuse, close de tous côtés, le désavantage plus grand d'avoir sensiblement en toutes ses parties la même densité et, par suite, la même perméabilité aux radiations nouvelles. L'encéphale ne satisfait donc pas à la première condition d'un examen à l'aide de ces radiations. Pour que des organes contigus donnent, sur l'écran fluorescent ou sur les plaques sensibles, des images distinctes et faciles à délimiter, il est en effet indispensable qu'ils soient très inégalement perméables aux rayons qui les traversent, sans quoi leurs ombres, également teintées, se confondent. Cette condition essentielle est assez mal réalisée par les organes contenus dans la cavité abdominale, surtout par les divers segments du tube digestif, dont les circonvolutions s'entremêlent et se superposent. Tout au contraire, c'est à l'intérieur du thorax qu'elle se manifeste le mieux. Car l'air atmosphérique remplit la plus grande partie de l'espace occupé par les poumons et, en raison de sa faible densité, ne nuit, pour ainsi dire, en rien au passage des rayons de Röntgen, tandis que le cœur, les gros vaisseaux et leur contenu liquide, beaucoup plus denses, font nettement obstacle à ces rayons. De plus, la cage ostéo-cartilagineuse où ces divers organes sont enfermés diminue à

peine leur perméabilité aux rayons, tandis qu'elle oppose aux tentatives de palpation à pleine main une barrière infranchissable.

Il peut paraître téméraire et injuste, dans la patrie de Laënnec, de Corvisart, de Monneret, d'invoquer l'insuffisance relative des modes habituels d'exploration des organes thoraciques. On serait volontiers tenté de croire qu'aux renseignements si nombreux et si précieux fournis par l'auscultation, par la palpation et par la recherche des vibrations vocales ou des battements cardiaques et artériels il est impossible de rien ajouter. Il faut cependant le reconnaître, ces admirables méthodes d'examen nous révèlent surtout les lésions dont le siège est superficiel, mais trop souvent elles nous laissent ignorer les lésions profondément situées à l'intérieur du thorax. Combien de foyers pulmonaires d'hépatisation pneumonique, d'induration tuberculeuse ou de gangrène, combien de collections purulentes interlobaires, d'adénopathies médiastines ou d'ectasies aortiques ne sont décelés par aucun signe d'auscultation ni de percussion ! Quelques centimètres d'épaisseur de tissu pulmonaire sain, interposés entre ces lésions et le doigt qui percute ou l'oreille qui ausculte, suffisent à les masquer et à les dérober plus ou moins complètement à la recherche.

Le grand avantage de l'exploration du thorax à l'aide des rayons de Röntgen, son incontestable supériorité, c'est qu'elle atteint et montre les lésions profondément situées, que leur siège rend inaccessibles aux autres procédés d'investigation. A cet avantage inappréciable, elle joint celui de parler aux yeux, et c'est le cas de répéter que nous en croyons toujours plus volontiers le témoignage de nos yeux que celui de nos oreilles. Enfin, elle possède d'autres mérites qui diffèrent suivant les divers modes d'emploi des rayons de Röntgen.

CHAPITRE PREMIER

EXAMEN DU THORAX

§ 1. — Modes d'examen.

Radioscopie et radiographie simples. — L'examen radioscopique et la radiographie sont, pour la cavité thoracique comme pour les autres régions du corps, les deux procédés d'exploration nés de la découverte de Röntgen ; ils donnent, sur l'écran fluorescent ou sur la plaque sensible, les images fugitives ou durables des organes invisibles. Appliqués au thorax, ces deux procédés d'exploration ne cessent pas de se prêter un mutuel appui et de se compléter l'un l'autre, mais leur importance relative devient, aux yeux du médecin qui les fait servir au diagnostic des affections thoraciques, très différente de ce qu'elle paraît au chirurgien, désireux surtout de connaître le siège des corps étrangers, les solutions de continuité des os et les déplacements articulaires.

Examen radioscopique. — Aux yeux du médecin qui explore le thorax, la supériorité de l'examen radioscopique sur la radiographie est incontestable. Observer sur l'écran fluorescent l'image des organes thoraciques ne lui paraît pas seulement une opération plus simple, plus rapide et moins coûteuse que celle de fixer cette image sur une plaque sensible. Il trouve à l'examen radioscopique du thorax un plus précieux avantage, celui de donner, en quelques instants, non pas une seule, mais plusieurs images différentes d'un même organe qui toutes concourent au diagnostic cherché. En effet, l'image observée sur l'écran varie, d'un instant à l'autre, dans son éclat et dans l'intensité relative des diverses ombres dont elle est formée, suivant le pouvoir de pénétration des rayons de Röntgen, qu'on peut, en de certaines limites, modifier à volonté au cours de l'examen. Elle varie dans sa configuration et dans ses contours avec la direction générale des rayons de Röntgen, suivant qu'ils traversent le thorax d'avant en arrière, d'arrière en avant, transversalement de gauche à droite, de droite à gauche, ou dans un des nombreux diamètres intermédiaires ; quand le malade est debout, elle change donc suivant qu'il fait face à l'écran, lui

tourne le dos ou fait avec lui un angle variable. Dans ces conditions, pour une même position du malade, l'image radioscopique varie avec la situation de l'ampoule dans l'espace, suivant qu'elle est élevée, abaissée, latéralement déplacée; en un mot, suivant l'incidence variable des rayons de Röntgen en chacune des parties du thorax, en chacun des points de l'écran. L'image varie, sous l'influence de la pesanteur, qui modifie les rapports du contenu du thorax, avec les changements d'attitude du malade, droit ou incliné, immobile ou brusquement déplacé. Enfin, l'image varie surtout avec les mouvements des organes respiratoires et circulatoires, si bien qu'elle permet d'observer et de mesurer l'ampliation des poumons, les excursions du diaphragme, les pulsations rythmiques du cœur et de l'aorte ; elle montre même le cheminement dans l'œsophage des corps opaques déglutis.

La radioscopie, grâce à ce privilège qu'elle possède de montrer les mouvements des organes contenus dans le thorax, renseigne le médecin non seulement sur leurs caractères physiques, mais sur leur fonctionnement; c'est à la fois un procédé d'investigation anatomique et un instrument d'analyse physiologique : telle est la raison principale de sa supériorité.

Aussi l'exploration du thorax à l'aide des rayons de Röntgen doit-elle toujours commencer par l'examen radioscopique : seul il est capable de fournir au diagnostic bon nombre de données sur lesquelles la radiographie est forcément muette. Le plus souvent, d'ailleurs, l'examen radioscopique suffit à donner tous les renseignements qu'on peut demander aux rayons de Röntgen, et la radiographie ne sert qu'à fixer et à conserver, plus exactement qu'un calque ou un dessin, l'une des images fugitives aperçues sur l'écran fluorescent.

Alors même qu'avant tout examen le médecin est désireux d'obtenir de la radiographie un document durable et impersonnel, qu'il puisse étudier à loisir et reproduire à volonté, il a tout intérêt à commencer par la radioscopie : celle-ci lui permet de choisir, entre les diverses positions du malade par rapport à l'ampoule et à l'écran, celle qui montre la meilleure image, en vue du diagnostic cherché, et d'adopter cette position, de préférence à toute autre, pour la radiographie qui vient après. Dans ce cas, l'écran fluorescent joue, en quelque sorte, le rôle de la glace dépolie ou de la chambre claire des appareils de photographie.

Examen radiographique. — Ce n'est pas à dire que pour l'exploration du thorax on doive méconnaître les services rendus par la radiographie, ni surtout s'en priver. Les images radiographiques, sur les clichés ou sur les épreuves, montrent à l'œil qui les examine à la pleine lumière du jour, c'est-à-dire avec le maximum d'acuité visuelle, une finesse dans les détails et une précision dans les contours que ne présentent pas au même degré les images radioscopiques, observées à la lumière relativement faible de l'écran fluorescent, avec une acuité visuelle toujours diminuée. C'est ainsi qu'au début de la tuberculose pulmonaire la radiographie peut révéler entre les deux sommets une légère différence de clarté qui échappe plus ou moins complète-

ment à l'examen radioscopique. En pareil cas, la radiographie devient le complément obligé de la radioscopie.

Ce n'est pas seulement la radiographie simple qui, dans certaines conditions, apporte au diagnostic des affections thoraciques le plus précieux appoint ; ce sont aussi diverses modalités de ce procédé d'exploration, moins habituellement employées, telles que la cinématoradiographie et la stéréoradiographie.

Cinématoradiographie. — La cinématoradiographie à laquelle est attaché, en notre pays, le nom du docteur Guilleminot, permet, à l'aide des ingénieux appareils dont ce médecin est l'inventeur, de dissocier les phases de la respiration ou celles de la révolution cardiaque, de faire agir les rayons de Röntgen sur la plaque sensible exclusivement à la fin de l'inspiration ou à la fin de l'expiration pendant la systole, ou pendant la diastole des oreillettes ou des ventricules, de suppléer à l'insuffisance de durée de chaque pose par sa répétition et de conserver ainsi sur les clichés les images des organes thoraciques fixées pendant l'une ou l'autre seulement de ces phases distinctes. On trouvera, dans une autre partie de cet ouvrage, la description des instruments employés à la cinématoradiographie et de leur mode d'emploi. Cette méthode a donné à son inventeur de très intéressants résultats ; ainsi elle lui a permis de vérifier et de mettre tout à fait hors de doute un phénomène observé sur l'écran fluorescent par le professeur Bouchard, celui des mouvements d'ampliation de l'oreillette droite isochrones aux mouvements respiratoires. Il faut reconnaître toutefois que cette méthode, très précieuse à l'époque peu éloignée où la radiographie du thorax n'exigeait jamais moins de plusieurs minutes de pose, a beaucoup perdu de son importance depuis qu'il est possible de radiographier un thorax en quelques secondes et même en une seule seconde. Quand on aura réalisé la radiographie véritablement instantanée des organes thoraciques, on peut prévoir que la cinématoradiographie aura vécu, tout au moins sous la forme que lui a donnée le docteur Guilleminot, car il n'est pas véritablement impossible qu'un jour le cinématographe, actuellement si connu, mette sous nos yeux, à l'aide d'une succession de radiographies instantanées, les mouvements des poumons, du diaphragme et du cœur, comme il reproduit, à l'aide d'une succession de photographies instantanées, les mouvements extérieurs.

Radiographie et radioscopie stérésocopiques. — La stéréoradiographie, ou radiographie stéréoscopique, consiste essentiellement dans l'examen au stéréoscope de deux clichés ou de deux épreuves radiographiques d'un même organe, successivement pris en deux positions différentes de l'ampoule ; ces deux images, quelque peu dissemblables, vues au stéréoscope, font naître les sensations du relief et de la profondeur ; elles donnent l'illusion de l'organe réel reconstitué dans l'espace avec ses différents plans, placés chacun à la distance convenable. Appliquée à une région aussi spacieuse et de structure aussi complexe que le contenu de la cage

thoracique, la stéréoradiographie présente de très grands avantages. Une radiographie simple du thorax ne donne en effet aucune indication sur l'ordre de superposition des divers plans et sur les distances qui les séparent. En un même point d'une radiographie simple du thorax se superposent les ombres portées de toutes les portions d'organes rencontrées et traversées par les rayons de Röntgen aboutissant à ce point, ce qui forme une image d'une interprétation souvent très difficile. Enfin, en présence des opacités mal délimitées que présentent les radiographies simples du thorax, c'est un problème parfois insoluble de décider si elles correspondent à des lésions pathologiques ou s'il ne s'agit pas tout simplement de ces taches de développement, difficiles à éviter en photographie, et d'autant plus fréquemment rencontrées en radiographie qu'on emploie des plaques plus grandes et plus sensibles. Tous ces inconvénients disparaissent quand on applique à l'exploration du thorax la stéréoradiographie, de préférence à la radiographie simple.

Puisqu'il y a tout avantage à voir au stéréoscope, avec l'illusion du relief. les images fixées sur les plaques sensibles par les rayons de Röntgen, il est certainement très désirable de voir avec le même relief les images obtenues sur l'écran fluorescent. Théoriquement, la stéréoradioscopie est très supérieure à la radioscopie simple, mais, en pratique, la stéréoradioscopie est beaucoup plus difficilement réalisable que la stéréoradiographie, surtout s'il s'agit de l'appliquer à l'examen du thorax. La stéréoradioscopie des organes thoraciques demeure donc actuellement une méthode d'exception. D'ailleurs, la possibilité d'obtenir sur l'écran fluorescent, comme il a été dit, toute une série successive d'images diverses d'un même thorax, donne indirectement, au point de vue du diagnostic, à peu près les mêmes résultats que la stéréoscopie. En résumé, le simple examen radioscopique, la radiographie simple et la stéréoradiographie, tels sont aujourd'hui les plus habituels procédés d'exploration des organes thoraciques à l'aide des rayons de Röntgen, l'examen radioscopique demeurant de beaucoup le plus important des trois.

§ 2. — **Manuel opératoire**.

L'outillage et le manuel opératoire des divers modes d'emploi des rayons de Röntgen ont été précédemment étudiés. Il importe d'y revenir seulement pour montrer les particularités de chacun d'eux dans son application aux organes thoraciques.

Pour que l'examen radioscopique du thorax rende au diagnostic les meilleurs services, il est certaines conditions auxquelles le sujet examiné, les rayons employés à l'exploration et l'observateur doivent satisfaire.

Le sujet examiné doit être placé de telle sorte que ses mouvements respiratoires soient très libres et qu'il puisse très facilement changer d'attitude, de manière à être traversé par les rayons de Röntgen en diverses directions.

Pour ces raisons, il est préférable, quand cela est possible, de l'examiner debout. Si toutefois on redoute pour le sujet examiné la fatigue de la station debout, on le fait asseoir sur un siège dont le choix n'est pas sans importance. Ce doit être un siège de hauteur réglable, capable de s'adapter à toutes les tailles et pivotant sur son axe pour faciliter l'examen dans tous les sens. J'emploie dans ce but avec avantage un tabouret à vis, du genre des tabourets de piano, dont le siège proprement dit a la forme d'une selle de bicyclette; il permet l'extension presque complète des cuisses sur le bassin et conserve ainsi aux excursions du diaphragme toute leur amplitude. Enfin, le sujet peut être horizontalement étendu sur un support de toile ou de bois, très perméable aux rayons de Röntgen provenant de l'ampoule placée au-dessous. Cette dernière position, parfois commandée par l'état de faiblesse du malade, ne facilite guère les changements d'attitude : aussi doit-elle être beaucoup moins fréquemment employée que les deux autres.

La parfaite mobilité de l'ampoule au cours de l'examen radioscopique est une condition essentielle que réalise au mieux l'emploi d'un support du genre de celui qu'a imaginé le docteur Guilleminot. L'appareil dont je me sers habituellement est essentiellement constitué par un cadre vertical rectangulaire dans le plan duquel l'ampoule, soutenue par un contrepoids, est mobile en tous sens, grâce à deux cadres plus petits, coulissant l'un dans l'autre et mobiles à l'intérieur du cadre fixe. Le mouvement d'élévation et d'abaissement de l'ampoule est obtenu par l'intermédiaire d'une poignée fixée au contrepoids; le mouvement de déplacement latéral, moins important, s'obtient directement. Au-devant de ce cadre vertical, à une distance facilement réglable et dans un plan parallèle, l'écran fluorescent est verticalement suspendu à l'aide de contrepoids qui permettent de l'élever ou de l'abaisser à volonté.

On modifie remarquablement l'image radioscopique en interposant au-devant de l'ampoule, sur le trajet des rayons émis par l'anticathode, un écran de plomb percé d'une ouverture plus ou moins étroite, de manière à restreindre le faisceau de ces rayons qui traverse le thorax et à éliminer la plupart des rayons parasites provenant d'autres points. Si la surface illuminée de l'écran perd de son éclat à mesure qu'elle diminue d'étendue, par contre, on voit graduellement grandir la précision des contours et le contraste des teintes de l'image radioscopique. L'emploi du diaphragme de plomb est une condition indispensable de l'examen du thorax. Comme il importe d'en pouvoir faire varier l'ouverture à volonté, j'ai fait construire un modèle, imitation simplifiée du diaphragme-iris des microscopes, qui me rend de grands services. Son ouverture, limitée par deux plaques de plomb glissant l'une au-devant de l'autre, a la forme d'un carré, et il suffit de tourner un bouton pour en modifier la grandeur. Au début de l'examen, on le tient tout grand ouvert pour prendre une vue d'ensemble des organes thoraciques, puis on rétrécit son ouverture en même temps qu'on déplace l'am-

poule pour obtenir avec plus de précision l'image limitée qu'on recherche, celle des sommets pulmonaires ou celle de la crosse aortique, par exemple. Parfois même, il est utile de faire varier non seulement la grandeur, mais la forme de l'ouverture du diaphragme-iris et de pouvoir à volonté lui donner, soit la forme d'un carré dont le côté varie, tandis que son centre demeure fixe, soit la forme d'une étroite bande rectangulaire, s'il s'agit de comparer, chez le même sujet, les images de deux régions symétriques, telles que les deux sommets pulmonaires ou les deux moitiés du muscle diaphragme, par exemple.

Il est utile de connaître le point de l'écran fluorescent perpendiculairement frappé par les rayons de Röntgen, le *point d'incidence normale*, puisque c'est au voisinage de ce point que l'image radioscopique est le moins déformée, le moins agrandie et se rapproche le plus de la forme et des dimensions des organes invisibles qu'elle représente. En disposant l'écran dans un plan parallèle à celui du diaphragme-iris et en fixant l'ampoule de manière que le rayon d'incidence normale passe par le centre de l'ouverture de ce diaphragme, on est certain qu'il vient toujours frapper exactement le centre de la plage d'illumination de l'écran, quels que soient les déplacements de l'ampoule et les changements d'attitude du malade. Dans ces conditions, il est facile de faire passer le rayon normal par la région du thorax plus particulièrement examinée.

Ce qui importe le plus est de pouvoir faire varier, comme on le désire, le pouvoir de pénétration des rayons donnés par l'ampoule. On y parvient surtout, quel que soit le flux électrique qui la traverse, courant de bobine d'induction ou décharge de machine statique, en modifiant la pression du gaz raréfié qu'elle contient. Les ampoules, munies de l'osmo-régulateur de Villard, qui permet de faire entrer de l'hydrogène dans leur cavité où d'en retirer à volonté, possèdent de ce chef une incontestable supériorité. Ce n'est pas seulement suivant l'épaisseur du thorax examiné que doit varier le pouvoir de pénétration des rayons de Röntgen. A chaque modification de ce pouvoir, en plus ou en moins, correspond, toutes choses égales, une modification de la valeur relative des ombres juxtaposées qui forment l'image radioscopique.

Aussi est-il souvent très utile, après avoir abaissé la pénétration des rayons fournis par l'ampoule au-dessous du degré nécessaire à l'examen, de la faire croître ensuite progressivement; à un moment donné, on aperçoit ainsi entre les deux images pulmonaires de légères différences de clarté qu'on ne distingue plus quelques instants plus tard, quand les rayons sont devenus plus pénétrants. Pour le diagnostic, si important et si difficile, de la tuberculose pulmonaire à ses débuts, cette technique rend de grands services. Enfin, le pouvoir de pénétration des rayons de Röntgen doit, toutes choses égales, diminuer au cours de l'examen radioscopique, à mesure que la sensibilité lumineuse de l'observateur devient plus grande, pour que les images vues sur l'écran conservent toute la netteté de leurs contours.

L'emploi d'une machine statique pour la production des rayons de Röntgen a l'avantage de donner à l'illumination de l'écran une fixité très favorable à l'exploration des organes thoraciques. Quand on fait usage d'une bobine d'induction, il est indispensable que les interruptions du courant inducteur soient assez rapprochées pour que l'illumination discontinue de l'écran donne à l'observateur, en raison de la persistance des impressions rétiniennes, une sensation d'illumination continue.

Le médecin désireux de pratiquer l'examen radioscopique du thorax doit se placer dans les meilleures conditions pour aborder cet examen avec une rétine aussi sensible que possible à la lumière fournie par l'écran fluorescent, surtout si les appareils dont il dispose ne sont pas capables de faire passer au travers de l'ampoule une très grande quantité d'énergie électrique.

Il ne doit pas oublier qu'un séjour de dix minutes dans l'obscurité rend la sensibilité lumineuse de la rétine 50 à 100 fois plus grande qu'au sortir du plein jour, que vingt minutes d'obscuration la rendent environ 200 fois plus grande. C'est donc de préférence le soir, après le coucher du soleil et dans une pièce très faiblement éclairée, qu'il doit procéder à l'interrogatoire et à l'examen de son malade au moyen des procédés habituels, avant de compléter son exploration par l'examen radioscopique ; à ce moment, il doit rendre l'obscurité complète dans la chambre en dissimulant soigneusement, à l'aide d'un écran de soie ou de carton, la luminescence de l'ampoule.

La radiographie du thorax présente seulement quelques particularités relatives à l'attitude du sujet et à la durée de la pose. L'attitude la plus habituelle est le décubitus dorsal sur la plaque sensible. Dans certains cas, cependant, par exemple pour obtenir une image du cœur aussi peu agrandie et déformée que possible, il est préférable que la plaque sensible soit en contact avec le sternum, ou bien, dans les cas d'épanchements hydroaériques de la plèvre, il est indispensable que le sujet soit assis. Quant à la durée de la pose, tantôt, avec les appareils habituellement employés, elle se compte par minutes et surpasse le temps pendant lequel les mouvements respiratoires peuvent être volontairement suspendus, tantôt, quand une très grande quantité d'énergie électrique passe au travers d'une ampoule spécialement construite à cet effet, ou quand la plaque est recouverte d'un écran renforçateur, elle atteint au maximum 30 secondes et, si la respiration est suspendue, peut donner l'image d'un thorax parfaitement immobile. Quant à la radiographie stéréoscopique du thorax, elle ne présente pas d'autres particularités que la radiographie simple.

CHAPITRE II

ÉTUDE DES IMAGES OBTENUES

§ 1. — Image thoracique normale.

Le médecin désireux de faire servir les rayons de Röntgen au diagnostic des affections thoraciques doit tout d'abord se familiariser avec l'image radioscopique du thorax normal et avec ses différents aspects suivant que les rayons partis de l'ampoule atteignent l'écran fluorescent après avoir traversé le thorax directement d'avant en arrière, d'arrière en avant, ou latéralement d'une aisselle à l'autre, ou obliquement dans l'une des nombreuses directions intermédiaires.

Examen antérieur et postérieur. — L'image radioscopique d'un thorax normal examiné par la face antérieure ou postérieure présente trois zones nettement tranchées et verticalement disposées : une zone médiane, très sombre, correspondant aux ombres portées de la colonne vertébrale, du sternum et des organes du médiastin, y compris le cœur ; de chaque côté de cette ombre médiane, une zone claire et brillante, correspondant à chacun des deux poumons. L'ensemble de ces trois zones contiguës est limité sur les côtés par une ligne sombre figurant les parois latérales du thorax, inférieurement par une autre ligne sombre, à concavité inférieure, qui représente la voûte diaphragmatique. L'ombre médiane est reliée, au travers des deux zones claires, aux ombres latérales par d'étroites bandes moins sombres, obliquement dirigées, qui sont l'image des côtes et des clavicules. Dans ce tableau, tout est mobile ; on y voit très nettement les mouvements d'élévation et d'abaissement des côtes, les battements du cœur, ceux de la crosse de l'aorte, quand elle déborde l'ombre médiane, enfin, les larges excursions du diaphragme qui, dans l'expiration, remonte jusqu'à la sixième côte et dans l'inspiration s'abaisse jusqu'à la huitième ou neuvième, parcourant ainsi une étendue de 8 à 10 centimètres et, donnant suivant la juste comparaison du professeur Kelsch, « l'impression du jeu d'une puissante pompe aspirante et foulante adaptée à la base du thorax ».

L'ombre médiane qui figure le médiastin se compose, chez les sujets

jeunes et sains, de deux parties superposées et continues, de formes bien distinctes : une partie supérieure, de forme à peu près rectangulaire, à bords sensiblement verticaux et parallèles, qui correspond à la première pièce du sternum, aux quatre à cinq premières vertèbres dorsales et aux organes interposés au-dessus du sac péricardique; une partie inférieure, de forme irrégulièrement arrondie, à contours mouvants, qui correspond partiellement à la colonne vertébrale et au sternum, mais surtout au contenu du sac péricardique. Cette partie inférieure se compose en réalité de l'ombre médiane proprement dite, à la formation de laquelle concourent la colonne vertébrale et le sternum, et de l'ombre cardiaque qui la déborde surtout d'un côté.

Suivant que l'écran fluorescent est appliqué contre le sternum ou contre la colonne vertébrale, l'examen est dit *antérieur* ou *postérieur*. Entre les images radioscopiques d'un même thorax fournies par ces deux modes d'examen, il n'existe pas, à première vue, une grande différence, c'est surtout par la situation et les dimensions de l'ombre cardiaque qu'elles sont dissemblables. Dans l'examen antérieur, l'observateur, placé en face de l'écran fluorescent, voit l'ombre cardiaque à sa droite; dans l'examen postérieur, il la voit à sa gauche. Dans l'examen antérieur, l'ombre cardiaque, par sa forme et ses dimensions, se rapproche de la forme et des dimensions réelles du cœur; elle s'en rapproche d'autant plus que l'écran est plus étroitement appliqué contre la poitrine du sujet examiné et que l'ampoule est plus loin ; dans l'examen postérieur, l'image cardiaque, moins sombre, moins nettement dessinée, est toujours agrandie et déformée. Cette différence tient à la situation du cœur dans la cage thoracique toujours beaucoup plus proche du sternum que de la colonne vertébrale. Pour la même raison, suivant que l'écran est appliqué contre le sternum ou contre la colonne vertébrale, c'est l'ombre du segment postérieur ou du segment antérieur des arcs costaux qui est le plus élargie et déformée. Toutes ces différences résultent des conditions géométriques auxquelles est soumise la formation des ombres en général.

Examen latéral. — Le thorax, latéralement traversé d'une aisselle à l'autre par les rayons de Röntgen, alors que les bras sont tenus élevés, donne une image radioscopique qui diffère notablement des précédentes et qui n'est pas non plus la même suivant que l'écran est appliqué contre l'aisselle gauche ou contre l'aisselle droite. En raison de la proximité du cœur de l'aisselle gauche, c'est à l'*examen latéral gauche*, c'est-à-dire avec l'écran appliqué au-dessous du bras gauche, qu'il convient de donner la préférence pour que l'ombre du cœur excède le moins possible, en largeur, les dimensions antéro-postérieures de cet organe. L'image radioscopique ainsi obtenue, si on fait abstraction de l'ombre des côtes, rappelle quelque peu la figure que donne sur un cadavre congelé une coupe verticale et antéro-postérieure du thorax passant par le plan médian. Elle est limitée : à gauche de l'observateur, par une bande d'ombre, assez étroite et légèrement curviligne, qui correspond au sternum ; à droite de l'observateur, par une bande d'ombre

plus large et d'une courbure plus accentuée, qui correspond, sinon en totalité, du moins pour la plus grande partie, à la colonne vertébrale. Ces deux bandes d'ombre se regardent par leur concavité et circonscrivent un espace fermé inférieurement par une ombre mouvante en forme de voûte, qui représente le diaphragme, et supérieurement par une ombre assez diffuse, celle des muscles du moignon de l'épaule. L'espace ainsi délimité se divise en trois zones verticalement placées, une zone médiane obscure et de part et d'autre une zone claire. La zone médiane obscure est l'image du cœur ; elle se confond en bas avec l'ombre de la voûte diaphragmatique, en haut avec l'ombre des muscles du moignon de l'épaule et celle de la colonne vertébrale; ses deux bords correspondent aux deux faces antérieure et postérieure du sac péricardique. Le bord antérieur se dirige obliquement de bas en haut et d'avant en arrière, il limite avec l'ombre du sternum dont il se détache un espace clair en forme de triangle curviligne, l'espace *rétro-sternal.* Le bord postérieur convexe se détache presque verticalement de l'ombre diaphragmatique, il limite, avec l'ombre de la paroi postérieure du thorax, un espace clair rectangulaire qui s'éclaircit surtout pendant l'inspiration, l'espace *rétro-cardiaque.*

Examen oblique. — Le thorax peut être obliquement traversé par les rayons de Röntgen, et dans chacune des directions intermédiaires à celles qui viennent d'être étudiées, il donne sur l'écran une nouvelle image.

Parmi les innombrables positions qui peuvent prêter à l'examen dans une direction oblique des rayons au travers du thorax, il en est quatre principales dans lesquelles le thorax forme avec l'écran un angle d'environ 45° et s'appuie sur ce dernier seulement par le bord antérieur ou postérieur de l'une ou l'autre aisselle. Appliquant à ces quatre examens obliques principaux le même genre d'appellation qu'aux précédents, on peut les distinguer comme il suit : *examen oblique antérieur droit*, quand le malade, faisant face à l'observateur, forme avec l'écran un angle d'environ 45° dont le sommet est le bord antérieur de l'aisselle droite ; *examen oblique postérieur gauche*, quand le malade tournant le dos à l'observateur, forme avec l'écran un angle d'environ 45° dont le sommet est le bord postérieur de l'aisselle gauche. Il suffit d'énoncer les appellations d'*examen oblique postérieur droit* et *d'examen oblique antérieur gauche* pour que leur signification soit immédiatement comprise.

De ces quatre examens obliques principaux, les plus importants sont les deux premiers et particulièrement le premier, l'examen oblique antérieur droit. Dans la position qui lui correspond, l'image radioscopique du thorax, plus complexe que dans l'examen antérieur ou postérieur, présente trois zones claires d'inégale étendue, limitées et séparées par deux ombres distinctes, l'ombre curviligne de la colonne vertébrale, à gauche de l'observateur, et l'ombre triangulaire du cœur, à sa droite. Du sommet de l'ombre cardiaque s'élève un prolongement, une sorte de bourgeonnement vertical formé par la projection sur l'écran fluorescent des ombres plus ou moins

superposées des deux portions ascendante et descendante de la crosse aortique. Ce mode particulier d'examen oblique, très utile à l'exploration de l'aorte et de l'œsophage, fera plus loin l'objet d'une étude détaillée. Dans la position correspondant à l'examen oblique postérieur gauche, non moins utile à l'exploration de l'œsophage, l'image radioscopique du thorax présente aussi trois zones claires d'inégale étendue, limitées et séparées par deux ombres distinctes, l'ombre vertébrale à droite de l'observateur, l'ombre cardio-aortique à sa gauche ; cette dernière est seulement beaucoup plus confuse et agrandie que dans le premier des examens obliques.

Variations de hauteur de l'ampoule. — Au cours de chacun de ces examens, antérieur, postérieur, latéral ou oblique, l'ampoule peut siéger à des hauteurs très variables ; à chaque position de l'ampoule correspond une nouvelle image. Elle est placée généralement à une hauteur telle, que le rayon perpendiculaire au plan de l'écran, passe par la région ou par la portion d'organe plus spécialement examinée. Mais pour que l'examen soit complet, il importe qu'elle soit successivement placée à diverses hauteurs, et, dans certains cas pathologiques, ce n'est pas trop, comme je l'ai montré, de l'élever jusqu'au-dessus de la tête du malade pour l'abaisser ensuite progressivement jusqu'au-dessous du bassin.

Quand le médecin est familiarisé avec les divers aspects de l'image radioscopique du thorax, il doit s'habituer à analyser méthodiquement chacun des éléments qui la composent et s'efforcer de déterminer, dans la superposition d'ombres dont elle est formée, quelle part revient aux parties molles couvrant la cage thoracique, à cette cage elle-même et aux différents viscères contenus dans sa cavité.

§ 2. — Parties molles du thorax.

Quand la couche adipeuse sous-cutanée ou quand les muscles thoraciques ont une certaine épaisseur plus grande que d'habitude, il en résulte, toutes choses égales, une diminution notable de la clarté de l'image radioscopique du thorax ; cette diminution de clarté est surtout appréciable dans l'étendue des deux zones claires qui correspondent aux poumons et particulièrement à la partie supérieure de ces deux zones ; c'est un point qu'il convient de ne jamais oublier dans l'appréciation de la perméabilité du tissu pulmonaire aux rayons de Röntgen. Les mamelles chez la femme projettent aussi sur l'écran une ombre d'autant plus accentuée qu'elles sont plus volumineuses ; il importe non seulement de ne pas la prendre pour une ombre pathologique, mais de l'écarter dans la mesure du possible, parce qu'elle nuit à l'exploration de la base du thorax ; on y parvient en soulevant ou en déplaçant de côté les mamelles avec la main.

Bien que l'omoplate ne puisse compter au nombre des parties molles du thorax, l'ombre portée sur l'écran fluorescent par cet os plat et particulièrement par l'apophyse désignée sous le nom d'épine de l'omoplate est, plus

facilement encore que l'ombre des mamelles, prise par les débutants pour une ombre pathologique. On évite l'erreur en imprimant aux bras du sujet examiné des mouvements qui déplacent l'omoplate et modifient la direction suivant laquelle elle est traversée par les rayons de Röntgen, tandis que le thorax proprement dit demeure immobile.

§ 3.— Cage thoracique.

La cage thoracique est une cage ostéo-cartilagineuse à claire-voie formée par la colonne vertébrale, le sternum, les côtes et les cartilages costaux ; elle est fermée en bas par le muscle diaphragme, qui en constitue l'élément le plus important.

Colonne vertébrale et sternum. — A l'examen antérieur ou postérieur du thorax, l'observation attentive de l'ombre médiane, au-dessus de l'ombre du cœur, montre qu'elle est formée, à sa partie moyenne, d'une large bande très sombre, limitée par des bords verticaux et parallèles, et de chaque côté par une étroite bande claire à contours festonnés.

Cette partie moyenne la plus foncée de l'ombre médiane est la seule qui corresponde à la colonne vertébrale et au sternum, sans parler des organes interposés. En réalité même, elle reçoit sa forme et ses contours presque exclusivement de la colonne vertébrale, comme l'a montré au docteur Weinberger une série de radiographies prises tour à tour sur le vivant et sur le squelette seul. Au lieu de radiographier un squelette monté, comme l'a fait le docteur Weinberger, nous croyons que mieux vaudrait radiographier un cadavre, d'abord à l'état d'intégrité, puis après avoir enlevé, par la voie abdominale, tout le contenu de la cage thoracique ; ces recherches n'en ont pas moins abouti à d'intéressantes conclusions qu'il importe de reproduire :

« Dans la radiographie du squelette du thorax, l'ombre médiane qui se produit sur la plaque appliquée contre la paroi antérieure est l'ombre de la colonne vertébrale.

« Les contours du sternum sont perceptibles seulement à un examen très minutieux, encore sont-ils fort peu visibles, parce qu'ils sont couverts, de chaque côté, par l'ombre de la colonne vertébrale. L'angle formé par la réunion de l'incisure claviculaire et de l'incisure de la première côte est la seule portion du sternum qui, dans sa plus grande largeur, dépasse de chaque côté d'environ 1 centimètre l'ombre de la colonne vertébrale.

« A l'examen antérieur du thorax vivant, par la radioscopie ou la radiographie, l'ombre médiane provenant des parties osseuses de la cage thoracique reçoit sa forme et son contour de la colonne vertébrale ; c'est l'ombre de la colonne vertébrale, à l'intérieur de laquelle est contenue l'ombre du sternum.

« Dans la radiographie du squelette du thorax, l'ombre médiane qui se produit sur la plaque appliquée contre la paroi postérieure est l'ombre de la

colonne vertébrale. L'ombre sternale est perceptible seulement, à un examen minutieux, comme une ombre très faible, à peine dessinée, qui dépasse l'ombre de la colonne vertébrale de 3 centimètres seulement à la hauteur du manubrium et de 1 centimètre à peine à la hauteur du corps du sternum.

« A l'examen postérieur du thorax vivant, par la radioscopie ou la radiographie, l'ombre médiane provenant des parties osseuses du thorax reçoit également sa forme et son contour de la colonne vertébrale, puisque l'ombre du sternum, à peine dessinée, n'entre pour ainsi dire pas en compte. »

Dans la pratique, pour distinguer sur l'écran fluorescent l'ombre du sternum de celle de la colonne vertébrale, avec laquelle elle se confond, à l'examen antérieur ou postérieur, il est nécessaire d'imprimer au tronc du sujet examiné des mouvements de rotation autour de l'axe vertical, de sorte qu'il soit plus ou moins obliquement traversé par les rayons de Röntgen. L'ombre du sternum apparaît alors distincte, et on la reconnaît facilement, surtout si l'on a eu soin de fixer au-devant de la région sternale un index métallique.

Quant à un degré convenable de pénétration des rayons de Röntgen se joint une illumination suffisante de l'écran, on peut distinguer dans l'ombre de la colonne dorsale, surtout à sa partie supérieure, les segments osseux et les cartilages intervertébraux dont elle est formée, ainsi que les différentes apophyses des vertèbres.

Côtes. — Les arcs costaux ne sont accessibles à l'examen radioscocopique que dans leur partie osseuse ; les cartilages qui joignent au sternum les côtes proprement dites sont trop peu denses pour donner sur l'écran une ombre appréciable. L'ombre des côtes se superpose à l'ombre des organes sous-jacents et tranche surtout sur les deux zones claires qui correspondent aux poumons, sans nuire à leur exploration. Elle y sert plutôt en permettant, d'après sa teinte plus ou moins foncée, d'après la précision plus ou moins grande de ses contours, d'évaluer le pouvoir de pénétration des rayons fournis par l'ampoule. Quand ces rayons deviennent trop pénétrants, l'ombre des côtes s'éclaircit, s'estompe et disparaît ; à plus forte raison disparaissent à ce moment les opacités pathologiques produites par une légère condensation du tissu pulmonaire, tandis que ces mêmes opacités ont surtout chance de se manifester lorsque les côtes, traversées par des rayons relativement peu pénétrants, projettent sur l'écran une ombre très noire.

Chacun des arcs costaux projette à la fois sur l'écran l'ombre de son segment postérieur articulé avec la colonne vertébrale et celle de son segment antérieur dirigé vers le sternum. De ces deux ombres, la plus apparente, la plus nettement limitée, la moins agrandie est l'ombre qui correspond au segment costal le plus rapproché de l'écran, celle du segment antérieur quand l'écran est appliqué contre le sternum, celle du segment postérieur quand l'écran touche la colonne vertébrale. Dans l'un ou l'autre cas, l'ombre du segment postérieur se dirige obliquement en bas et en dehors, vers

l'ombre de la paroi latérale du thorax, et à cet endroit se continue par un coude assez brusque avec l'ombre du segment antérieur obliquement dirigée en bas et en dedans vers la ligne médiane. Il en résulte, sur les deux zones claires de l'image radioscopique du thorax, une sorte de treillis formé par l'entrecroisement et le recouvrement partiel des ombres qui correspondent aux segments postérieurs et aux segments antérieurs des divers arcs costaux. C'est à la partie supérieure des zones claires, c'est-à-dire au sommet des deux images pulmonaires que ce treillis est le plus serré ; en cette région, en effet, les côtes, plus courtes, sont aussi plus rapprochées les unes des autres, et l'ombre de la clavicule vient se superposer aux ombres costales. De cette superposition en un même point de deux ou trois ombres provenant d'os longs, côtes ou clavicules, résultent des opacités partielles qu'il faut se garder avec soin de prendre pour des opacités pathologiques.

Les ombres des segments postérieurs des arcs costaux forment, à l'état normal, avec l'ombre médiane de la colonne vertébrale, un angle qui est exactement le même à gauche et à droite pour deux côtes de même rang. Cette égalité témoigne de la symétrie des deux moitiés de la cavité thoracique. Les ombres costales ne demeurent pas immobiles, elles se déplacent avec les mouvements respiratoires. L'angle qu'elles forment avec l'ombre médiane s'agrandit pendant l'inspiration, en même temps on les voit s'élever et s'écarter les unes des autres ; leur déplacement est d'autant plus accentué qu'il s'agit de côtes plus inférieures. Cet angle diminue, au contraire, pendant l'expiration ; en même temps, on voit les ombres costales s'abaisser et se rapprocher les unes des autres. A l'état normal, tous ces déplacements paraissent exactement symétriques, à gauche et à droite. Les mouvements des côtes sont des mouvements passifs qui dépendent de deux conditions : l'énergie avec laquelle se contractent les muscles inspirateurs et la résistance que leur oppose le tissu pulmonaire. Aussi la grande amplitude des excursions des ombres costales témoigne-t-elle à la fois de la parfaite élasticité du tissu pulmonaire et du bon fonctionnement des muscles inspirateurs.

§ 4. — **Diaphragme.**

Le diaphragme forme une voûte à convexité supérieure qui ferme en bas la cage thoracique et dont l'image radioscopique n'est pas la même des deux côtés de l'ombre médiane. A droite, où le diaphragme coiffe le foie et fait pour ainsi dire corps avec lui, les ombres des deux organes sont confondues sous la forme d'une large zone opaque très nettement limitée en haut par une ligne convexe qui correspond au contour supérieur de la voûte diaphragmatique. A gauche, où le diaphragme recouvre la grosse tubérosité de l'estomac, entre le bord gauche du foie et l'extrémité supérieure de la rate, il apparaît sous la forme d'une mince bandelette sombre, intermédiaire à la clarté du poumon situé au-dessus et à la clarté de l'estomac sous-jacent, surtout si celui-ci est rempli de gaz et quelque peu distendu.

La forme générale de l'ombre diaphragmatique est celle d'une voûte, mais d'une voûte qui, chez certains sujets, est déprimée à sa partie supérieure et centrale. L'examen radioscopique montre dans ce cas le contour supérieur du diaphragme sous la forme d'une ligne courbe formée de deux arcs latéraux convexes et d'un arc médian concave. C'est qu'il existe, en réalité, deux muscles diaphragmes, séparés et réunis à la fois par le centre aponévrotique sur lequel ils s'insèrent. Le centre aponévrotique peut fléchir légèrement sous le poids du cœur qu'il supporte, tandis que les deux muscles, à l'état de repos, sont attirés en haut par l'élasticité des poumons, en même temps que repoussés par la tension des gaz abdominaux. Cette forme change dans les grands mouvements respiratoires. Dans l'inspiration forcée, l'échancrure médiane diminue, les voussures latérales s'effacent, et la courbe du diaphragme tend à se rapprocher de la ligne horizontale sans jamais l'atteindre, si profonde que soit l'inspiration. Dans l'expiration forcée, la courbure s'accentue et se régularise à la fois, l'échancrure médiane ayant une tendance à disparaître sous l'influence de la pression intra-abdominale notablement accrue. Même à l'état normal, les deux moitiés de la courbe diaphragmatique paraissent rarement superposables. L'arc de la moitié gauche semble appartenir, surtout pendant l'inspiration, à une circonférence de plus grand rayon que celui de la moitié droite. Cette différence est due à la masse solide du foie, dont le diaphragme droit ne peut, en se contractant, faire varier la courbure, tandis que le diaphragme gauche modifie plus facilement celle de l'estomac rempli de gaz. L'amplitude des excursions du diaphragme varie d'un sujet à l'autre et suivant que la respiration est tranquille ou volontairement profonde. L'étude comparée de la forme et des mouvements de chacune des moitiés du diaphragme constitue, dans l'examen radioscopique du thorax, une des parties les plus importantes. De cette étude le médecin ne tire pas seulement d'utiles notions sur l'état anatomique du muscle et sur son innervation, il voit si le fonctionnement de l'un ou l'autre des deux diaphragmes n'est pas mécaniquement troublé par des adhérences unissant le feuillet pleural qui le recouvre au feuillet pariétal correspondant. Il voit surtout si les deux poumons opposent à ce mouvement d'abaissement des deux diaphragmes la même résistance ; de l'examen comparé de ces muscles, il tire indirectement les plus précieux renseignements sur l'élasticité comparée des deux poumons, et les notions qu'il acquiert ainsi sont de la plus grande importance, puisqu'une légère diminution de l'élasticité de l'un des poumons est parfois le premier signe physique qui révèle le début de la tuberculose.

On voit en résumé qu'une étroite synergie unit entre eux à la fois les viscères enfermés à l'intérieur du thorax et les différentes parties de la cage qui les contient. Aussi l'observation, à l'écran fluorescent, du jeu des côtes et du diaphragme, pendant la respiration, doit-elle toujours constituer une partie essentielle de l'exploration des organes intra-thoraciques, particulièrement des organes respiratoires.

§ 5. — Organes thoraciques.

Après l'observation de la cage thoracique vient celle de son contenu, dont l'image, à l'examen antérieur ou postérieur, présente, comme il a été dit, trois zones nettement tranchées et verticalement disposées : une zone médiane, très sombre, correspondant au cœur et aux organes du médiastin; de chaque côté, une zone claire et brillante, correspondant à l'un des poumons. C'est dans cet ordre que seront passés en revue les organes intra-thoraciques à l'état normal.

Cœur. — L'ombre médiane qui figure le médiastin se compose de deux parties superposées et continues de formes bien distinctes : une partie inférieure, de forme irrégulièrement arrondie, à contours mouvants, qui comprend une portion de l'ombre de la colonne vertébrale et de l'ombre du sternum, mais correspond surtout au contenu du sac péricardique; une partie supérieure, de forme à peu près rectangulaire, à bords verticaux et parallèles, qui comprend aussi une portion de l'ombre de la colonne vertébrale, celle des quatre à cinq premières vertèbres dorsales et une portion de l'ombre du sternum, celle de la première pièce de cet os, mais correspond en outre aux organes interposés au-dessus du sac péricardique.

L'image du cœur apparaît, dans l'examen antérieur du thorax, c'est-à-dire dans l'examen avec l'écran appliqué contre le sternum, sous la forme d'une ombre en partie confondue avec celle de la colonne vertébrale et du sternum, la dépassant à peine à droite de la deuxième à la quatrième côte, la débordant nettement à gauche et de plus en plus de haut en bas, limitée de ce côté par une ligne irrégulièrement convexe, étendue de la deuxième côte à peu de distance de la sixième; cette ombre se confond en bas avec celle du diaphragme et du foie.

C'est à la fin des inspirations profondes que, sur l'image plus brillante des poumons remplis d'air, l'ombre du cœur se détache le plus nettement; à ce moment aussi son contour inférieur, habituellement confondu avec l'ombre du diaphragme et du foie, s'en distingue dans une plus ou moins grande étendue. Il semble même parfois s'en détacher complètement et en être séparé par une bande claire horizontale. L'adhérence du péricarde au centre phrénique fait de ce phénomène un paradoxe que le professeur Bouchard explique par la dépression du péricarde entre le cœur et le diaphragme en avant et en arrière, pendant l'abaissement forcé de ce muscle à l'inspiration, par la pénétration du tissu pulmonaire dans les deux gouttières horizontales ainsi fermées et par la faible épaisseur, conséquemment la faible opacité du tissu cardiaque interposé à ce niveau.

Il est facile de reproduire, à l'aide d'un calque, le contour de l'ombre cardiaque portée sur l'écran. On peut ainsi, sous la réserve de se placer toujours dans les mêmes conditions d'examen, se rendre compte, à intervalles plus ou moins éloignés, des changements survenus chez un même sujet,

dans la position, la forme et le volume du cœur. Mais cette ombre n'est pas une projection orthogonale ; formée par un faisceau de radiations divergentes, elle est nécessairement agrandie et déformée, puisque le cœur est plus ou moins distant de l'écran et, pour lui rendre les dimensions qu'elle aurait si les rayons de Röntgen devenaient parallèles, des corrections sont nécessaires. On peut employer dans ce but le procédé imaginé par MM. Variot et Chicotot. Une simple règle de trois leur permet de calculer chacun des diamètres inconnus de l'aire cardiaque d'après trois longueurs connues : la distance du foyer radiogène à l'écran, le diamètre de l'ombre radioscopique et la distance des bords du cœur à la paroi thoracique appliquée contre l'écran. A vrai dire, de ces trois longueurs, les deux premières seules sont mesurables pour chacun des sujets examinés ; quant à la troisième, on est obligé de la supposer conforme à la moyenne établie par les recherches anatomiques sur le cadavre aux différents âges de la vie, et une telle supposition, surtout chez les adultes emphysémateux, ne concorde pas toujours avec la réalité ; c'est le point faible de cette méthode de mensuration. Pour plus d'exactitude, mieux vaut, je crois, comme je l'ai proposé et avec l'aide du diaphragme-iris, dont j'ai recommandé l'emploi pour la détermination du point d'incidence normale au cours de l'examen radioscopique, donner à l'ampoule toute une série de positions telles que le rayon normal soit successivement tangent à divers points de la périphérie du cœur, tandis que le sujet examiné et l'écran fluorescent demeurent immobiles ; on peut ainsi tracer sur un calque fixé à l'écran une image qui donne sans calculs et sans corrections la forme et les dimensions de l'aire du cœur.

L'image radioscopique du cœur présente des changements de forme synchrones aux contractions rythmiques de cet organe. Les mouvements observés diffèrent beaucoup d'un sujet à l'autre et, chez un même sujet, d'un moment à l'autre. Le mouvement de la pointe, quand il est très apparent, est toujours un mouvement de soulèvement qui porte la pointe assez rapidement en dehors, puis un retrait plus rapide encore qui ramène la pointe vers la ligne médiane. Mais ce n'est pas la pointe de l'ombre cardiaque, comme on aurait pu le supposer, qui présente d'ordinaire les déplaplacements les plus apparents. C'est la partie moyenne du bord gauche, correspondant à la cavité ventriculaire à peu près au point où il croise l'ombre de la quatrième côte. Parfois même, c'est à la partie supérieure de ce bord, c'est-à-dire au niveau de la partie interne du troisième espace intercostal, que le déplacement est le plus accentué. La radioscopie montre que le cœur change de forme, mais ne change pas de position quand il se contracte. Les déplacements du bord gauche de l'ombre cardiaque correspondent manifestement aux alternatives de vacuité et de réplétion, de systole et de diastole ventriculaires. Pendant qu'on a ces mouvements sous les yeux, si, à l'exemple du professeur Potain, on ausculte le cœur à l'aide d'un stéthoscope flexible, on constate très distinctement, comme l'enseignait ce maître, que le premier bruit correspond au moment précis où le mouvement de projection de

l'ombre vers la gauche prend fin, pour être instantanément remplacé par le retrait vers la ligne médiane. La projection vers la gauche est donc manifestement présystolique et correspond à la systole de l'oreillette, tandis que le mouvement de retrait correspond à la systole de ventricule. Après ce mouvement de retrait vient une ampliation lente et progressive de l'ombre du cœur, d'observation assez délicate, qui correspond à la période de repos de l'organe, puis de nouveau se montre la brusque projection de l'ombre vers la gauche, pendant la systole auriculaire. Le professeur Potain et le professeur Maragliano ont observé que cette projection de l'ombre coïncide avec le phénomène extérieur du soulèvement de la pointe, perceptible à l'inspection et au palper du thorax. Cette coïncidence les a confirmés dans l'opinion antérieurement soutenue par eux que le soulèvement visible de la pointe, distinct de l'ébranlement brusque qui le suit, est un phénomène présystolique dû à la systole auriculaire et à la distension consécutive des parois ventriculaires.

Les battements que perçoivent la vue et le palper dans la région précordiale, ces battements dits *de la pointe* dont on fait si grand cas comme point de repère dans l'examen du cœur à l'aide des moyens habituels, témoignent d'une impulsion qui n'est pas toujours celle de la pointe, mais qui provient assez souvent de la paroi ventriculaire. C'est un fait que l'examen radioscopique met hors de doute dans un certain nombre de cas en montrant la portion de l'ombre qui correspond réellement à la pointe du cœur notablement au-dessous du siège de l'impulsion cardiaque contre la paroi thoracique. La radioscopie confirme, à l'état normal comme à l'état pathologique, la vérité de l'adage clinique : « Tout ce qui bat n'est pas la pointe. »

Le contour droit de l'ombre du cœur, quand il dépasse l'ombre médiane, fait voir, principalement dans l'examen postérieur, c'est-à-dire dans l'examen avec l'écran appliqué contre la colonne vertébrale et dans une position du tronc légèrement oblique, des mouvements de même rythme que ceux de la ligne ventriculaire. Ils précèdent quelque peu ces derniers, sont moins nettement perceptibles, moins étendus, et correspondent aux systoles de l'oreillette droite.

Pendant les mouvements d'inspiration, surtout d'inspiration profonde, deux facteurs interviennent pour modifier la forme de l'ombre cardiaque : l'abaissement du diaphragme et la diminution de la pression intra-thoracique. Le plus souvent cette ombre se rétrécit transversalement et s'allonge inférieurement. C'est la preuve que, par suite de l'abaissement du diaphragme, le cœur fixé en haut prend dans le sac péricardique une position plus verticale. Cependant il arrive quelquefois, comme l'a remarqué le professeur Benedikt, de Vienne, qu'une portion du poumon gauche, s'insinuant dans une dépression du péricarde, entre le diaphragme et le cœur, relève la pointe de cet organe ; au lieu de se rétrécir, l'ombre cardiaque s'élargit alors à sa partie inférieure. Pendant l'inspiration, il se produit à l'intérieur du thorax une légère diminution de pression qui fait appel au sang veineux en

même temps qu'à l'air atmosphérique. Ainsi s'explique l'ampliation de l'ombre de l'oreillette droite, que le professeur Bouchard a vue le premier sur l'écran fluorescent, et dont le docteur Guilleminot a fixé sur des plaques sensibles la forme et l'étendue à l'aide de son ingénieux appareil destiné à la cinématoradiographie de la respiration.

L'examen radioscopique montre dans quelle mesure le cœur, obéissant à la pesanteur, se déplace sous l'influence des changements d'attitude. MM. Variot et Chicotot ont constaté sur une dizaine d'enfants qui passaient successivement devant l'écran, du décubitus latéral droit à la station verticale, puis au décubitus latéral gauche, que le cœur se déplace de part et d'autre du fait de la pesanteur dans une étendue de 1 à 2 centimètres environ. Plus récemment, j'ai vu que le passage du décubitus dorsal à la station debout modifie les rapports du cœur avec la paroi antérieure du thorax en lui permettant de s'abaisser quelque peu.

En résumé, on voit que l'examen radioscopique du cœur, principalement par sa face antérieure, permet de se rendre compte de sa situation, de sa forme, de ses dimensions, de son volume et des modifications qu'y apporte le jeu des fonctions respiratoire et circulatoire, tandis que la cinématoradiographie donne le moyen de fixer l'image de ces modifications, même les plus légères, et de les étudier tout à loisir.

Médiastin.— L'image radioscopique du cœur ou, plus exactement, du sac péricardique comprend, à sa partie supérieure, sans délimitation nette, la portion initiale des gros vaisseaux de la base, sur laquelle le péricarde se prolonge. Il importe ici de revenir quelque peu en arrière et d'étudier, avec plus de détails que précédemment, la portion supérieure de l'ombre médiane qui, à l'examen antérieur ou postérieur du thorax, surmonte l'ombre cardiaque et correspond à la partie supérieure du médiastin.

Cette portion supérieure de l'ombre médiane, quand on l'observe attentivement, se montre formée, à sa partie moyenne, d'une large bande très sombre, limitée par des bords verticaux et parallèles et, de chaque côté, par une étroite bande plus claire à contours festonnés. La comparaison de radiographies prises sur le vivant et sur le squelette a montré au docteur Weinberger que la partie moyenne la plus foncée de l'ombre médiane est la seule qui corresponde à la colonne vertébrale et au sternum, ainsi qu'aux organes interposés, tandis que, de chaque côté, la bande claire à contours festonnés est produite uniquement par les organes contenus dans le médiastin, à l'exclusion des parties osseuses de la cage thoracique.

La partie moyenne, plus foncée, a été précédemment étudiée Voici, d'après les recherches très minutieuses du docteur Weinberger, la description des deux bandes latérales, plus claires, de l'ombre médiane.

A l'examen antérieur du thorax, l'ombre médiane, envisagée dans son ensemble, est limitée par deux contours, qu'on peut désigner, par rapport au sujet examiné, sous les noms de contour gauche et de contour droit. Le contour gauche, suivi de haut en bas, à partir de l'extrémité antérieure de la

première côte, présente trois arcs successifs, assez bien dessinés, à convexité externe. Le premier de ces arcs a une forte courbure et se détache nettement; il s'étend de la première à la seconde côte et fait saillie dans le premier espace intercostal. Le second arc, moins accentué, fait suite au précédent, en formant avec lui un angle obtus d'environ 145° ; il se termine à la hauteur de la troisième côte ou un peu au-dessous. Le troisième arc, très peu accentué, forme avec le second un angle obtus de 150° à 180°; il s'étend jusqu'à l'ombre du diaphragme et a été précédemment étudié comme le contour gauche de l'ombre du cœur.

Le contour droit, suivi de haut en bas, depuis l'extrémité antérieure de la première côte, est d'abord rectiligne ; il se dirige quelque peu obliquement en dehors et descend jusqu'à la troisième côte ; à ce niveau, il se continue, sous un angle d'environ 150°, avec un arc peu accentué, à convexité externe, qui a été précédemment étudié comme le contour droit de l'ombre du cœur.

L'ombre médiane, envisagée dans son ensemble, est large de 5 à 6 centimètres au niveau du premier espace intercostal et ne mesure pas moins de 7 à 8 centimètres de largeur au niveau du second espace intercostal; tandis que le sternum, large de 4 à 5 centimètres et demi au niveau du premier espace, mesure seulement 2 centimètres et demi à 3 centimètres et demi de largeur au niveau du second. On voit dans quelle étendue, à l'examen antérieur, l'ombre médiane dépasse de chaque côté l'ombre propre du sternum.

L'examen antérieur du thorax, à l'écran fluorescent, montre que le contour gauche de l'ombre médiane est animé, dans toute son étendue, de mouvements rythmiques. Ceux du premier arc sont assez énergiques, ceux du second le sont beaucoup moins ; c'est le troisième dont les mouvements sont le plus accentués; ils correspondent, comme on l'a vu précédemment, aux battements du cœur. Le contour droit de l'ombre médiane n'est pas animé de mouvements, si ce n'est inférieurement, dans sa portion convexe, qui présente une pulsation très peu distincte. L'examen postérieur du thorax, à l'écran fluorescent, donne des résultats analogues.

Les données qui précèdent, rapprochées des notions d'anatomie topographique fournies par des coupes de cadavres congelés, divisant le thorax, dans la station debout, en une succession de tranches horizontales, permettent d'interpréter de la manière suivante les diverses particularités de l'ombre médiane:

A la hauteur du premier espace intercostal, l'ombre médiane correspond, par sa limite droite rectiligne, au bord droit de la veine cave supérieure, par son contour gauche en forme d'arc au bord gauche de la crosse de l'aorte. La pulsation observée à gauche, dans le premier espace intercostal, est la pulsation de l'aorte.

Au-dessus du premier espace intercostal et de la première côte, à la hauteur de la clavicule, les deux troncs veineux brachio-céphaliques, dont la

réunion aboutit à la veine cave supérieure, et les trois branches artérielles issues de la convexité de la crosse aortique, participent à la formation de l'ombre médiane. Le contour droit de cette ombre correspond au bord externe du tronc veineux brachio-céphalique droit; son contour gauche correspond au bord externe de l'artère sous-clavière gauche.

A la hauteur du deuxième espace intercostal, l'ombre médiane correspond par son contour droit, de haut en bas, d'abord à la terminaison de la veine cave supérieure, puis à l'oreillette droite ; par son contour gauche, elle correspond à l'artère pulmonaire et à l'oreillette gauche. La pulsation rythmique qu'on perçoit à gauche, dans le deuxième espace intercostal, est la pulsation de l'artère pulmonaire.

Au niveau du deuxième espace intercostal, l'ombre de l'aorte ascendante et celle de l'aorte descendante ne peuvent pas être délimitées par l'examen antérieur ou postérieur ; elles sont confondues dans la partie moyenne la plus foncée de l'ombre médiane. Il en est de même de l'ombre de l'oreillette gauche à l'état normal ; mais, quand cette oreillette est dilatée pathologiquement, son ombre s'étend dans le deuxième espace intercostal droit, où elle peut déborder celles de la veine cave supérieure et de l'oreillette droite.

Au-dessous, dans les troisième et quatrième espaces intercostaux, et jusqu'au diaphragme, la partie périphérique de l'ombre médiane qui dépasse les limites du sternum appartient, à droite, exclusivement à l'oreillette droite ; elle correspond, à gauche, sinon en totalité, ou moins en grande partie, au ventricule gauche.

Pour compléter l'analyse de l'ombre médiane, observée à l'examen antérieur, il faut ajouter qu'au milieu de la partie moyenne, très sombre, une étroite bande claire, verticalement placée, s'étend en hauteur depuis le pharynx jusqu'à la quatrième vertèbre dorsale. Cette bande étroite paraît claire, surtout par contraste avec les ombres plus foncées qui la limitent latéralement : elle correspond à la trachée.

On voit, par la description qui précède, comment il est possible, à l'aide des rayons de Röntgen, de reconnaître sur le vivant la situation, la forme et le volume des principaux organes contenus dans le médiastin, surtout des gros vaisseaux de la base du cœur.

Aorte. — L'exploration de la crosse de l'aorte présente un si grand intérêt qu'il importe d'y insister tout particulièrement. A cette exploration ne suffit ni l'examen antérieur, ni l'examen postérieur ; il est nécessaire d'y joindre l'examen latéral et surtout l'examen oblique.

L'examen latéral gauche, c'est-à-dire avec l'écran appliqué contre l'aisselle gauche, tandis que les deux bras sont tenus élevés, découvre, comme on l'a vu précédemment, l'ombre du sac péricardique limitée par deux espaces clairs, l'espace rétro-sternal en avant et l'espace rétro-cardiaque en arrière ; cette ombre se continue en bas avec l'ombre du diaphragme, en haut avec l'ombre des muscles de l'épaule et celle de la colonne vertébrale. Quelques-unes des lignes de cette image radioscopique dessinent partielle-

ment l'ombre portée par l'aorte thoracique. C'est ainsi que, dans le triangle curviligne figuré par l'espace clair rétro-sternal, le côté postéro-inférieur et l'angle postérieur correspondent à la portion ascendante de l'aorte. D'autre part, l'ombre de la moitié inférieure de la portion descendante de l'aorte thoracique forme, avec l'œsophage qui l'accompagne, la limite postérieure de l'espace clair rétro-cardiaque. Quant à la portion horizontale de l'aorte et à la moitié supérieure de sa portion descendante, leur ombre est entièrement confondue avec l'ombre des muscles de l'épaule et celle de la colonne vertébrale. Ainsi, l'examen latéral gauche montre seulement les parties initiale et terminale de l'ombre portée par l'aorte thoracique sur l'écran fluorescent. Il n'y a rien à dire de l'examen latéral droit, qui peut être négligé sans inconvénient dans l'exploration de l'aorte à l'état normal.

C'est l'examen oblique antérieur droit qui donne sur la configuration de l'arc aortique les renseignements les plus précieux. Pour ce mode particulier d'investigation, le sujet examiné, faisant face à l'écran, est invité d'abord à élever le bras droit, puis à exécuter autour d'un axe vertical un mouvement de rotation tel que le bord antérieur de l'aisselle droite demeure en contact avec l'écran immobile, tandis que l'épaule gauche s'en éloigne. On arrête ce mouvement de rotation quand la face antérieure du thorax fait avec le plan de l'écran un angle d'environ 45°. Le but à atteindre est le suivant : le foyer d'émission des rayons de Röntgen, le sujet examiné et l'écran fluorescent doivent être respectivement placés de telle sorte que le rayon perpendiculaire à l'écran vienne frapper celui-ci après avoir pénétré derrière l'épaule gauche et successivement rencontré sur son trajet d'abord l'aorte descendante, puis l'aorte ascendante. L'emploi d'un diaphragme de plomb est presque indispensable en pareil cas pour percevoir nettement les détails de l'image complexe qui apparaît sur l'écran. Dans aucune autre exploration on n'apprécie mieux les avantages du châssis porte-ampoule et porte-écran, muni d'un diaphragme-iris avec indicateur d'incidence, dont j'ai donné la description. Avec cet instrument, rien n'est si facile que de vérifier si les deux parties ascendante et descendante de l'aorte sont sur le trajet du rayon normal à l'écran, de voir à quelle hauteur elles sont traversées par le rayon normal et de modifier l'attitude du sujet ou la position de l'ampoule pour obtenir le résultat cherché. Quand les conditions voulues sont réalisées, voici ce qu'on observe, d'après la minutieuse description du docteur Holzknecht, de Vienne, dont j'ai maintes fois vérifié l'exactitude.

L'image thoracique présente, comme il a été dit déjà, trois zones claires, séparées par deux ombres verticales, l'ombre de la colonne vertébrale, à gauche de l'observateur, et l'ombre du cœur, à sa droite.

L'ombre de la colonne vertébrale, limitée par des bords équidistants, dirige de haut en bas et de gauche à droite, en formant une courbure peu accentuée à concavité droite. Son bord droit, nettement linéaire, correspond à la face antérieure des corps vertébraux, obliquement tournée vers l'écran. Son bord gauche, moins net, et comme dentelé, correspond aux apo-

physes transverses et aux apophyses épineuses des vertèbres, ainsi qu'à la masse des muscles couchés dans la gouttière costo-vertébrale droite. La courbe qu'elle décrit correspond à la courbure normale de la colonne dorsale, mais est à moitié moins accentuée que la courbure réelle ; en effet, dans la position du thorax incliné à 45° sur l'écran, elle représente la silhouette d'une colonne vertébrale qui n'est traversée ni de face, ni de profil, mais dans une position intermédiaire, par les rayons de Röntgen.

Dans cette position, le cœur semble avoir perdu sa pointe effilée ; son ombre offre la forme d'un triangle à peu près équilatéral, dont la base se confond avec le diaphragme. De l'angle supérieur du triangle cardiaque s'élève un prolongement, une sorte de bourgeonnement vertical. Cette étroite bande d'ombre qui continue en haut l'ombre du cœur n'est autre chose que la projection, sur l'écran, des ombres superposées des deux portions ascendante et descendante de la crosse aortique. Le prolongement aortique de l'ombre du cœur offre une teinte sombre, contrastant avec la bande claire qui le sépare de l'ombre de la colonne vertébrale. Il se montre également large dans toute sa hauteur et se termine, au niveau de l'articulation sterno-claviculaire et de la troisième vertèbre dorsale, par une extrémité arrondie, parfois un peu plus renflée et toujours de teinte plus sombre que le reste. Dans les conditions d'examen les plus favorables, ses deux bords et la demi-circonférence qui limite son extrémité supérieure sont le siège de mouvements rythmiques d'expansion, synchrones aux systoles cardiaques et aux pulsations carotidiennes ; c'est la preuve qu'il s'agit bien de l'ombre portée de la crosse aortique.

L'étroite bande claire qui sépare l'ombre cardiaque et son prolongement aortique de l'ombre de la colonne vertébrale présente dans son ensemble la forme d'un fuseau. Son extrémité inférieure est tantôt effilée et tantôt coupée par l'ombre de la voûte diaphragmatique ; son extrémité supérieure s'élargit pour entourer le sommet de l'ombre aortique et se continuer avec la zone claire étendue qui correspond au poumon gauche. L'examen d'une coupe transversale du thorax congelé montre que les rayons capables de produire la clarté de cette bande médiane doivent traverser d'abord le lobe inférieur du poumon gauche, dans sa partie postérieure, voisine de la colonne vertébrale, puis les régions antérieures des lobes supérieur et moyen du poumon droit. L'intégrité de ces diverses portions du parenchyme pulmonaire est donc indispensable à la bonne projection de l'ombre aortique.

La direction de l'ombre aortique, sensiblement verticale, présente fréquemment une légère inclinaison à droite et une légère courbure avec concavité droite. Ses bords sont équidistants, et sa largeur, variable suivant l'âge, le sexe et la stature des sujets examinés, est comprise entre 2 centimètres et 3 centimètres et demi, pour une distance de 50 centimètres de l'ampoule à l'écran. Son extrémité supérieure présente parfois un léger renflement en forme de massue, qui augmente, diminue et disparaît même complètement quand on fait exécuter au malade, dans la position qu'il occupe,

de très petits mouvements de rotation autour de l'axe vertical du corps. C'est la preuve que ce renflement est dû seulement à une incomplète superposition des ombres correspondant aux deux portions ascendante et descendante de la crosse. Quand le thorax du malade fait avec l'écran un angle supérieur à 45°, non seulement le renflement disparaît, mais il est remplacé par une nouvelle bande d'ombre, plus pâle et plus étroite que la première, partant à angle aigu de l'extrémité supérieure de celle-ci et dirigée en bas et en dedans vers la colonne vertébrale ; cette seconde ombre aortique correspond manifestement à la partie initiale de l'aorte descendante.

La teinte plus sombre de l'extrémité supérieure de l'ombre aortique provient de l'épaisseur plus grande de la couche de liquide sanguin interposée, à ce niveau, sur le trajet des rayons de Röntgen, qui traversent, dans toute sa longueur, la portion horizontale de la crosse.

Sans déplacer le sujet examiné, ni l'écran fluorescent, si on fait varier, dans le sens vertical, la position de l'ampoule, on modifie la hauteur à laquelle l'ombre aortique se projette sur l'écran, ainsi que la longueur de cette ombre ; rien, d'ailleurs, n'est changé dans son aspect, ni dans sa largeur.

En tenant compte des données de l'anatomie topographique du thorax et des conditions géométriques auxquelles est soumise la formation des ombres, on comprend que, suivant la position de l'ampoule à divers niveaux, ce sont divers segments de l'aorte thoracique dont l'ombre est projetée sur l'écran. Quand le rayon normal est tangent à la crosse aortique, toute la portion horizontale de l'aorte contribue à former le sommet de l'ombre projetée. Si l'ampoule est suffisamment élevée, ce sommet correspond seulement à la moitié antérieure de cette portion horizontale. Au contraire, si l'ampoule est suffisamment abaissée, il ne correspond plus qu'à sa moitié postérieure. Suivant qu'on veut plus particulièrement explorer la portion ascendante ou la partie descendante de la crosse aortique, il faut donc élever ou abaisser l'ampoule après avoir d'abord fait passer le rayon normal par le point culminant de cette crosse. On obtient ainsi une série d'images diverses qui se complètent mutuellement. De même, il est très utile de passer graduellement de l'image du thorax fournie par l'examen antérieur à celle que donne l'examen oblique antérieur droit, en faisant tourner le malade très lentement autour de l'axe vertical du corps ; on assiste ainsi à la dissociation progressive des ombres du cœur et de la colonne vertébrale, d'abord confondues. L'observateur voit l'ombre du cœur et de l'aorte, provenant d'organes placés en avant de l'axe de rotation, se déplacer vers sa droite, à mesure que l'ombre de la colonne vertébrale, placée en arrière de l'axe de rotation, se porte vers sa gauche. Avec un peu d'exercice et d'habitude on parvient facilement à combiner les changements d'attitude du sujet, les mouvements d'élévation ou d'abaissement de l'ampoule et le maniement du diaphragme-iris de manière à passer en revue sur l'écran, en quelques instants, tous les aspects que peut prendre l'image radioscopique de l'aorte.

Œsophage. — L'œsophage normal ne se révèle pas directement à l'exploration radioscopique. Dans tous les modes d'examen, l'ombre de ses parois demeure confondue avec celle de la colonne vertébrale, contre laquelle il est couché. Un artifice permet cependant de voir avec netteté, sur l'écran fluorescent, la situation et la direction de l'œsophage dans le médiastin. Cet artifice consiste à pratiquer le cathétérisme œsophagien soit à l'aide d'une bougie en métal flexible, soit à l'aide d'une sonde souple fermée à son extrémité inférieure et remplie de mercure ou de grenaille de plomb. L'image de la colonne métallique ainsi introduite dans le canal œsophagien est facilement reconnaissable à sa teinte très sombre. Elle se distingue particulièrement quand le sujet examiné prend une attitude telle qu'il est obliquement traversé par le rayon normal à l'écran. C'est ainsi que, dans l'examen oblique antérieur droit, sa silhouette traverse de haut en bas la bande claire intermédiaire à l'ombre vertébrale et à l'ombre cardio-aortique ; elle se dirige de haut en bas et de dedans en dehors, à la droite de l'observateur, de telle sorte qu'à la partie supérieure de l'espace clair elle aborde l'ombre vertébrale, puis s'en éloigne peu à peu et pénètre en bas dans l'ombre cardiaque ou tout au moins atteint son angle gauche ; on peut la suivre au-dessous de l'ombre de la voûte diaphragmatique jusque dans la cavité de l'estomac.

L'examen oblique postérieur gauche permet de même de voir se détacher, dans l'espace clair moyen, entre l'ombre vertébrale et l'ombre cardio-aortique, l'ombre du cathéter opaque introduit dans l'œsophage. Suivant les préceptes du docteur Holzknecht, on peut employer un moyen plus simple et moins pénible au sujet examiné pour étudier non seulement la direction du canal œsophagien, mais son calibre et sa contractilité : il suffit de faire déglutir un cachet de bismuth dont on observe l'ombre sur l'écran, dans l'un ou l'autre des deux examens obliques cités.

Trachée et grosses bronches. — La trachée béante, et remplie d'air, par conséquent très perméable aux rayons de Röntgen, se révèle sur l'écran, comme il a été déjà dit, par une étroite bande claire, verticalement placée au milieu de l'ombre médiane du thorax et étendue depuis l'espace clair qui correspond au pharynx jusqu'à la quatrième vertèbre dorsale. La situation et la direction de la trachée ne pourraient apparaître à l'examen transversal ou à l'examen oblique que si elle contenait un cathéter métallique, condition beaucoup plus difficile à réaliser que pour l'œsophage.

Les grosses bronches échappent à peu près complètement aux rayons de Röntgen. Tout au plus, chez certains sujets amaigris, un rétrécissement de l'ombre médiane, qui prend la forme d'un sablier, correspond-il, à la hauteur de la cinquième vertèbre dorsale, au bord inférieur des gros canaux bronchiques.

En dehors de l'aorte, de l'œsophage, de la trachée et des grosses bronches, les autres organes contenus dans le médiastin n'ont pas, à l'état normal, des dimensions et une densité suffisante pour être accessibles à l'examen radioscopique.

Poumons.— L'exploration radioscopique du thorax montre, à l'examen antérieur ou postérieur, de part et d'autre de l'ombre médiane, une zone claire, zébrée par l'ombre des côtes et des clavicules, c'est l'image du poumon correspondant. Symétriques dans leur moitié supérieure, les deux images pulmonaires sont dissemblables inférieurement. La zone claire, qui représente le poumon gauche, est restreinte et diminuée par l'ombre cardiaque dans la mesure où celle-ci déborde le bord gauche du sternum. Aussi, toute la portion du poumon gauche qui recouvre en arrière le sac péricardique ainsi que la languette pulmonaire qui passe en avant de ce sac, échappent à l'examen antérieur ou postérieur et sont, à l'examen latéral, d'une exploration très difficile.

La limite inférieure des deux images pulmonaires est l'ombre de la voûte diaphragmatique. Cette ombre se confond à droite avec l'ombre du foie ; à gauche, elle se détache, comme une mince bandelette sombre, en forme d'arceau, sur l'image claire de l'estomac rempli de gaz. Il en résulte que toute la portion de la base des poumons située au-dessous d'un plan horizontal, tangent à la voûte diaphragmatique, est très inégalement accessible, d'un côté et de l'autre, à l'exploration radioscopique. Une portion de la base pulmonaire droite, celle qui remplit la région antérieure et surtout la région postérieure du sinus costo-diaphragmatique, échappe nécessairement à l'examen par suite de l'interposition de la masse imperméable du dôme hépatique. Les portions correspondantes de la base pulmonaire gauche peuvent plus facilement être explorées ; encore est-il bon que l'estomac ne contienne que des gaz et soit plus ou moins distendu.

La clarté des deux images pulmonaires est à peu près uniforme du sommet à la base. Cependant il est habituel de voir partir, de chaque côté de l'ombre médiane du thorax, au-dessus de l'ombre cardiaque, d'étroites bandes, faiblement sombres et mal délimitées, qui divergent en éventail pour se perdre insensiblement, après un trajet de 2 à 4 centimètres, dans la clarté pulmonaire. Ces bandes, légèrement ombrées, correspondent à la fois aux premières divisions des grosses bronches, aux petits ganglions lymphatiques si nombreux qui les entourent et aux vaisseaux artériels ou veineux qui entrent dans les poumons ou qui en sortent, en un mot à l'épanouissement, à l'intérieur de chacun des deux poumons, de tous les éléments plus denses que les vésicules, réunis en faisceau dans le hile pulmonaire. Dans l'état actuel de l'examen radioscopique et radiographique, il n'est pas possible de poursuivre plus profondément ces divers canaux, aériens et sanguins, ni de les distinguer les uns des autres. Les opacités normales, provenant de la charpente intra-pulmonaire, doivent être reconnues comme telles ; il faut se garder de les prendre pour des opacités morbides ; cependant, il est parfois très difficile de fixer la limite entre l'état physiologique et l'état pathologique et, par exemple, de décider si les ganglions péribronchiques, qui contribuent à la formation de cette zone d'ombre intermédiaire et diffuse, ont leur volume habituel ou sont hypertrophiés.

D'autres opacités, provenant des organes situés à la périphérie des poumons, interrompent aussi, par places, sur l'image radioscopique du thorax, la clarté des deux zones pulmonaires : ainsi font les ombres des côtes, des clavicules, des omoplates, et, chez la femme, les ombres des glandes mammaires. Pour éviter l'erreur, il suffit de déplacer les seins en les relevant ou en les écartant vers l'aisselle ; il suffit aussi de faire mouvoir les bras du sujet examiné pour déplacer l'omoplate, dont l'épine et le bord spinal sont particulièrement capables de tromper l'observateur. Il semble, a priori, plus facile de ne pas se méprendre sur l'origine des ombres costales et claviculaires ; cependant, au sommet de l'image pulmonaire, les diverses ombres provenant de la clavicule, de l'arc antérieur et de l'arc postérieur des premières côtes, peuvent se superposer ou s'entre-croiser, de telle sorte qu'il devient malaisé de distinguer ce qui appartient en propre à chacune d'elles. La difficulté est grande, surtout quand les deux moitiés de la cage thoracique, à leur sommet, et par suite les deux images pulmonaires, ne sont pas symétriques ; le fait est très fréquent, surtout chez les jeunes filles et chez les jeunes gens atteints de scoliose de la colonne dorsale. En ce cas, les deux clavicules ne sont pas à la même hauteur, et dans l'examen postérieur il arrive que l'image de l'une se confond avec l'ombre d'une côte, tandis que l'image de l'autre, projetée entre deux côtes, diminue la clarté de l'espace intercostal correspondant. C'est alors qu'il est très utile de déplacer l'ampoule par des mouvements alternatifs d'élévation et d'abaissement pour faire varier, avec la direction et l'incidence des rayons sur l'écran, l'aspect de l'image radioscopique.

La clarté de l'image pulmonaire varie avec l'épaisseur et la densité du poumon, avec l'épaisseur et la densité des parties molles qui le recouvrent. Elle est plus grande chez l'enfant que chez l'adulte, plus grande chez la femme que chez l'homme, plus grande chez les sujets maigres et débiles que chez les individus forts et bien musclés. Chez ces derniers, l'image du sommet du poumon, en raison de l'épaisseur des muscles denses qui le recouvrent, est normalement moins claire que le reste de la zone pulmonaire ; le docteur Williams (de Boston) croit même que le sommet du poumon droit paraît d'ordinaire sur l'écran un peu plus obscur que celui du sommet gauche.

L'image radioscopique des poumons se modifie avec les mouvements inspiratoires dans son étendue, dans sa forme et dans sa clarté. Pendant l'inspiration, elle grandit à la fois dans le sens transversal, par suite de l'écartement des parois latérales du thorax, et dans le sens vertical, par suite de l'abaissement du diaphragme. On voit en même temps sur l'écran les ombres costales s'élever, s'éloigner de la colonne vertébrale et s'écarter les unes des autres. A mesure que la voûte diaphragmatique s'abaisse, on voit aussi de chaque côté la clarté pulmonaire s'insinuer comme un coin entre la ligne sombre de la paroi du thorax et celle du diaphragme ; c'est la preuve qu'il n'existe pas d'adhérences entre le feuillet costal de la plèvre et son feuillet

diaphragmatique, que rien ne met obstacle à l'expansion du poumon et à la descente de son bord inférieur dans le sinus costo-diaphragmatique.

D'autre part, pendant l'inspiration et surtout pendant les inspirations profondes, l'image des poumons devient notablement plus claire ; cette augmentation de clarté se montre dans toute son étendue, mais elle est particulièrement manifeste à la base, immédiatement au-dessus de l'ombre du diaphragme. Ce phénomène s'explique facilement : le parenchyme élastique du poumon est comparable à une bande de caoutchouc, d'abord à peine perméable à la lumière et qui devient translucide à mesure qu'on l'étire, c'est-à-dire à mesure qu'on répartit la masse de sa substance sur une plus grande étendue. De même, l'image du poumon paraît plus claire à l'inspiration, parce que l'augmentation de volume de cet organe dans tous les sens équivaut à une diminution dans la densité de l'obstacle qu'il oppose au passage des rayons de Röntgen, et comme c'est surtout à la base du poumon que le mouvement d'expansion est prononcé, c'est surtout à la base de l'image pulmonaire que la clarté devient plus grande.

Le libre accès de l'air dans les vésicules du poumon, l'intégrité des feuillets pleuraux, dont la faible épaisseur, à l'état normal, n'oppose, pour ainsi dire, aucun obstacle au passage des rayons de Röntgen, et l'absence de tout épanchement liquide dans la cavité qu'ils circonscrivent, telles sont les trois conditions principales auxquelles est liée la clarté de l'image pulmonaire. Les changements qui surviennent dans la forme et les dimensions de cette image, sous l'influence des mouvements respiratoires, dépendent d'une autre condition, l'intégrité du tissu élastique du poumon. L'élasticité est la première des qualités physiques du tissu pulmonaire sain, et aucun mode d'exploration n'en permet mieux l'étude sur le vivant que l'examen radioscopique. On juge que les poumons possèdent leur élasticité normale quand l'examen de l'image pulmonaire, tour à tour pendant l'inspiration et pendant l'expiration forcées, montre un grand écart entre les dimensions successivement observées. On apprécie cet écart surtout par l'allongement du diamètre vertical, c'est-à-dire par l'abaissement de la voûte diaphragmatique. Ainsi, l'amplitude des excursions de chacune des deux moitiés du diaphragme devient la mesure indirecte de l'élasticité du poumon correspondant.

A l'état normal, quand les deux poumons possèdent la même élasticité et sont également perméables à l'air, on voit les dimensions transversales des deux images pulmonaires s'élargir également pendant les grandes inspirations et les ombres des parois latérales du thorax s'éloigner symétriquement de la ligne médiane. Pendant ce temps, l'ombre médiane qui correspond au médiastin demeure immobile et ne présente aucune tendance au déplacement latéral. L'immobilité de l'ombre médiane montre qu'en dépit des variations de la pression intrapulmonaire liées aux mouvements respiratoires, cette pression s'exerce toujours également sur les deux faces latérales du médiastin. Elle montre aussi que les tractions exercées sur les deux faces latérales du médiastin par l'élasticité du tissu pulmonaire, tout en variant avec

les mouvements respiratoires, demeurent toujours égales à gauche et à droite. On verra combien, à l'état pathologique, ces conditions peuvent être changées.

En résumé, l'examen radioscopique des poumons nous permet de juger de leurs dimensions, de leur volume, de leur élasticité, de l'intégrité de la séreuse qui les recouvre, et surtout de la perméabilité de leurs alvéoles à l'air atmosphérique. Tous les signes que cet examen peut apporter au diagnostic des affections de l'appareil respiratoire proviennent des modifications si variées et parfois si complexes qui surviennent, à l'état pathologique, dans la forme et dans la clarté des images pulmonaires normales.

Docteur A. Béclère,

Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

V. — LES PLÈVRES ET LES POUMONS

CHAPITRE PREMIER

POUMONS

PREMIÈRE SECTION. — AFFECTIONS TUBERCULEUSES DU POUMON

§ 1. — Généralités.

Historique. — Dans une note présentée à l'Académie des sciences le 14 décembre 1896, M. Bouchard montrait quels services peuvent rendre aux médecins les rayons de Röntgen appliqués au diagnostic de la tuberculose pulmonaire.

« Chez tous les tuberculeux que j'ai examinés à l'aide de l'écran fluorescent, disait-il, j'ai constaté l'ombre des lésions pulmonaires ; son siège était en rapport avec les délimitations fournies par les autres méthodes de l'exploration physique, son intensité était en rapport avec la profondeur de la lésion », et M. Bouchard concluait en disant que la radioscopie donne des renseignements de tous points comparables à ceux de la percussion.

Il n'est que juste de reconnaître que quelques mois auparavant MM. Oudin et Barthélemy, relatant les résultats qu'ils avaient obtenus en examinant le thorax d'individus normaux, soit au moyen de l'écran fluorescent, soit à l'aide de la radiographie, avaient pressenti l'intérêt qu'il y aurait à étudier avec les rayons de Röntgen les organes thoraciques malades.

Depuis quatre ans les recherches se sont poursuivies sur ce même sujet, et, à la suite de M. Bouchard, un grand nombre de médecins ont utilisé la méthode nouvelle pour l'étude des lésions tuberculeuses du poumon.

En outre des nombreuses communications de M. Bouchard à l'Académie des sciences (1), nous devons citer les travaux de MM. Bergonié (2),

(1) Bouchard, *C. R. de l'Académie des sciences*, 7 décembre 1896. — 14 décembre 1896. — 28 décembre 1896. — 17 mai 1897. — 22 janvier 1898.

(2) Bergonié, *Journal de méd. de Bordeaux*, janvier 1897, et *Arch. d'élect. méd.*, mars 1897.

Potain et Martin-Dürr (1), Milian, la communication de MM. Kelsch et Boinon à l'Académie de médecine (2), celles de MM. Fernet (3), Béclère, Barthélemy et Oudin à la Société médicale des hôpitaux, celles de MM. Garrigou, Guilleminot à l'Académie des sciences.

A l'étranger, nous avons à signaler d'importants travaux : en Allemagne, ceux de Lévy-Dorn (4), de Lœwenthal (5), de Grunmach (6), de Benedikt (7), d'Hoffmann (8), de Rumpf (9) de Holzknecht (10) ; en Amérique, ceux de Tracy (11), de Jones (12) et surtout de Williams (13) ; en Angleterre, ceux d'Edward Stubbert (14) ; en Italie, l'intéressant rapport de Maragliano (15) au Congrès de Naples.

Nous ne pouvons mentionner tous les auteurs qui ont contribué à l'étude de la tuberculose au moyen des rayons X; la liste en est déjà fort longue. Il faut cependant faire une place à part aux rapports de M. Béclère et de M. Claude, présentés au IVe Congrès pour l'étude de la tuberculose et intitulés « Les Rayons de Röntgen et le diagnostic de la tuberculose pulmonaire », rapports où la question est traitée avec de nombreux développements et que nous avons mis largement à contribution pour la rédaction de cet article.

Division du sujet. — L'examen du poumon peut se faire soit avec l'écran fluorescent, soit en utilisant les épreuves radiographiques. Nous ne reviendrons pas sur ce qui a été déjà dit à propos de la valeur respective de ces deux modes d'exploration du thorax ; mais au point de vue plus spécial qui nous occupe, c'est-à-dire de l'étude des lésions tuberculeuses du poumon, il est incontestable que la radioscopie présente dans la pratique journalière une grande supériorité sur la radiographie : rapidité de l'examen, possibilité de faire varier la position du malade, de modifier l'intensité de la lumière, facilité du contrôle immédiat des résultats de l'investigation radiographique par les procédés ordinaires d'exploration ou, inversement, vérification des données stéthoscopiques par l'application des rayons X. Ce sont là autant d'avantages qui font de la radioscopie un procédé vraiment

(1) Potain et Martin-Durr, *C. R. de l'Ac. des sc.*, 29 mars 1897.
(2) Kelsch et Boinon, *Bulletin de l'Académie de médecine*, 21 décembre 1897.
(3) Fernet, *Soc. méd. des hôpitaux de Paris*, 18 déc. 1896.
(4) Lévy-Dorn, *Deutsche med. Wochenschr.*, 11 février 1897.
(5) Lœwenthal, *Therap. Wochenschrift*, 14 fév. 1897.
(6) Grunmach, *Therap. Monatschr.*, janvier 1897, et *Wiener med. Wochensch.*, 4 sept. 1897.
(7) Benedikt, *Congrès de Berlin*, 1897.
(8) Hoffmann, *Congrès de Berlin*, 1897.
(9) Rumpf, *Congrès de Berlin*, 1897.
(10) Holzknecht, *Die radiologische Diagnostik des Erkrankungen der Brustein geweide*, 1901.
(11) Tracy, *Journ. Am. medical Association*, 6 nov. 1897.
(12) Jones, *Journ. Am. medical Association*, 6 nov. 1897.
(13) Francis Williams, *Am. Journ. of the med. sciences*, 5 déc. 1897.
(14) Ed. Stubbert, *Med. Record*, 26 mai 1897.
(15) Maragliano, *Congrès de Naples*, octobre 1897.

clinique, celui auquel le médecin doit tout d'abord s'adresser, quitte à demander à la photographie un supplément d'informations s'il y a lieu.

Nous insisterons donc sur les résultats fournis par la radioscopie, tout en indiquant les renseignements complémentaires qui pourraient être fournis dans certains cas par la radiographie.

Nous ne croyons pas nécessaire de suivre servilement, dans cette étude des lésions tuberculeuses au moyen des rayons X, la division classique de la phtisie en périodes nettement tranchées. L'intérêt qu'il y a à soumettre un malade à l'examen radioscopique ou radiographique est très différent suivant les circonstances, et il y a lieu d'envisager deux catégories de faits bien tranchées.

Quelles sont, en effet, les questions que le médecin est appelé à résoudre dans la pratique journalière ?

Une première question, d'intérêt primordial, qui se pose tout d'abord, est de savoir si le sujet soumis à l'examen est ou n'est pas en puissance de tuberculose. Seule, la constatation du bacille de Koch dans les produits expectorés constitue un signe de certitude absolue. Si ce signe existe, la question se trouve d'emblée résolue, et toute recherche complémentaire au point de vue particulier de la nature de l'infection devient du même coup superflue. Mais si l'examen bactériologique a été négatif, si les signes stéthoscopiques sont peu caractérisés, et si cependant des considérations d'ordre divers, tirées de l'étiologie, de l'hérédité ou simplement de l'état général du sujet, peuvent faire suspecter une affection tuberculeuse du poumon, le devoir du médecin est de ne négliger aucun moyen d'éclairer son diagnostic, et il doit chercher à accumuler les éléments qui lui permettront d'établir la probabilité de la tuberculose ou, au contraire, lui feront proclamer l'intégrité du poumon.

La seconde question qui se présente, que la tuberculose soit seulement probable ou qu'elle soit certaine de par l'examen bactériologique, est toute différente de la première, il ne s'agit plus d'affirmer la nature de la maladie, mais d'en connaître l'étendue, d'en suivre les progrès. Le microscope ne donne plus alors de renseignements de réelle importance, et seul l'examen minutieux de la poitrine permettra de fixer les limites du mal et, en complétant le diagnostic, de poser l'un des éléments du pronostic.

Les images obtenues sur l'écran fluorescent ou les photographies radiographiques peuvent aider à répondre à ces deux questions, mais elles fournissent des indications d'inégale valeur selon que la tuberculose est simplement soupçonnée ou qu'au contraire son existence est mise hors de doute.

Dans le premier cas, la constatation des ombres au sommet du poumon ou la simple diminution de la transparence pulmonaire est un signe de première valeur, capital s'il confirme les résultats fournis par la percussion et par l'auscultation et parfois suffisant, en l'absence de toute autre indication, pour rendre très vraisemblable un diagnostic jusqu'alors incertain.

On conçoit donc quel intérêt il y a pour le médecin à bien connaître, à

savoir rechercher et à facilement reconnaître les caractères des images radioscopiques ou des épreuves radiographiques données par les poumons tuberculeux, même de ceux atteints des plus minimes lésions.

Cette recherche des signes de début de la phtisie a toujours préoccupé l'esprit des médecins. Avant même la découverte de l'auscultation, Bayle admettait une période de phtisie occulte ou de germination. Plus tard, Andral exquissa l'étude des respirations anormales; mais c'est à M. Grancher que revient l'honneur d'avoir complété nos connaissances sur ce point, d'avoir appris à distinguer ces altérations très légères du rythme respiratoire et surtout d'avoir montré quels profits on peut en tirer pour le diagnostic précoce de la tuberculose.

Avec la possibilité du diagnostic précoce, on entrevoit la possibilité d'une thérapeutique également plus précoce et, par suite, plus efficace. On peut donc dire que tout symptôme nouveau, toute méthode qui nous permettra de dépister la tuberculose pulmonaire à une période plus rapprochée de son début, sera l'équivalent d'un progrès thérapeutique et atténuera la gravité du pronostic de la phtisie. C'est une étape de ce genre que nous a fait franchir l'application de la découverte de Röntgen au diagnostic de la tuberculose.

La première partie de cet article sera consacrée à l'étude de ces cas où la tuberculose pulmonaire est douteuse.

Quand, au contraire, le diagnostic de la nature de la maladie est chose acquise, l'exploration du poumon par les rayons X n'en présente pas moins un intérêt considérable, et les renseignements que l'on peut en attendre, pour être d'un autre ordre que ceux que nous venons de signaler, n'en sont pas cependant négligeables, car s'ils ne concourent plus à établir le diagnostic, ils servent d'une façon très précieuse à formuler le pronostic en montrant le degré, le siège et l'étendue des lésions.

Nous aurons donc, dans une seconde partie, à envisager les différents aspects du thorax examiné aux rayons de Röntgen dans les cas de tuberculose confirmée.

Dans une troisième partie, nous chercherons à montrer comment les rayons de Röntgen permettent de reconnaître les maladies qui peuvent simuler de près ou de loin la tuberculose pulmonaire.

Il nous restera enfin à compléter cette étude en deux courts chapitres ayant trait au diagnostic des tuberculoses latentes et à celui de la phtisie aiguë.

§ 2. — Phtisie douteuse. — Période de germination, premier degré.

Nous étudierons surtout dans ce paragraphe les indications fournies par les rayons X au début de l'envahissement du poumon par le bacille de Koch, alors que les lésions sont encore légères, que les symptômes généraux ou locaux sont peu accentués, difficiles à saisir, en tout cas insuffisants pour permettre à un médecin, même expérimenté, de se prononcer avec certitude.

Les renseignements fournis au clinicien par la découverte de Röntgen, dans les cas qui nous occupent, font connaître : 1° l'état anatomique du poumon lui-même ; 2° l'état anatomique des organes voisins du poumon (plèvres, ganglions) ; 3° les modifications apportées au fonctionnement de l'appareil respiratoire et principalement du diaphragme.

L'image d'un poumon suspect de tuberculose devra donc être étudiée à ces trois points de vue.

Examen des poumons. — Rappelons brièvement tout d'abord les quelques notions élémentaires que l'observateur doit toujours avoir présentes à l'esprit lorsqu'il examine un malade au moyen des rayons de Röntgen et signalons les particularités qu'il est essentiel de bien connaître, si l'on veut



Fig. 328. — Tuberculose pulmonaire, femme de 21 ans.

Position frontale en décubitus dorsal. Incidence antérieure, normale sur le milieu du sternum.

savoir découvrir des modifications aussi peu accentuées, aussi délicates à saisir que celles qui caractérisent la tuberculose au début.

L'examen radioscopique devra être pratiqué successivement par la face antérieure et par la face postérieure. Il sera bon parfois de commencer à observer l'image obtenue, en appliquant l'écran sur le dos du malade, cette image étant toujours plus nette que celle que donne l'examen par la face antérieure.

On aura soin, pendant l'examen, de faire varier l'intensité de l'éclairage, de façon à bien mettre en évidence les plus légères différences dans la transparence des deux côtés du thorax, l'on modifiera également la position respective du malade et celle de l'ampoule. On se rappellera que tous les sujets ne se laissent pas également pénétrer par les radiations, qu'en général l'image est plus nette chez les sujets amaigris, à thorax étroit, que chez ceux qui ont conservé leur embonpoint et dont le système musculaire est bien développé, chez les sujets jeunes que chez les sujets âgés, chez la

femme que chez l'homme et, qu'enfin, l'image s'éclaircit normalement à la fin des grandes inspirations. Il faudra donc tenir compte de toutes ces variations individuelles et surtout s'efforcer de comparer un des poumons à celui du côté opposé. Toutefois, d'après le docteur Williams, le sommet droit serait normalement plus obscur que le sommet gauche.

Il est également important de tenir compte de l'incidence des rayons éclairants, et il faudra faire en sorte, lorsque l'on comparera les deux côtés du thorax, que le rayon normal soit exactement dans le plan médian, de façon que l'éclairage des deux poumons soit symétrique.

C'est sur les parties supérieures du thorax que l'examen doit particulièrement porter, et l'observateur étudiera surtout avec attention l'espace situé au-dessus de la clavicule en avant, au-dessus de l'omoplate en arrière. La plus légère modification dans la netteté de l'image sera notée pour être au besoin contrôlée dans un examen ultérieur, pour servir, en tout cas, d'indication, et pour permettre de compléter le diagnostic par la recherche des signes classiques d'une lésion commençante.



Fig. 329. — Tuberculose pulmonaire, homme de 40 ans. Signes prémonitoires d'une invasion tuberculeuse des poumons.

Position frontale en décubitus dorsal. Incidence antérieure normale sur le milieu du sternum.

C'est qu'en effet dans la période initiale de la tuberculose, il ne s'agit le plus souvent que de nuances. Ce que l'on observe, c'est une diminution de la transparence normale de l'un ou des deux sommets. « L'écran fluorescent montrera, dit le docteur Claude (1), dans un des sommets, ou dans les deux, parfois en plusieurs points des poumons, des petites taches mal délimitées à leur périphérie, ou bien un léger brouillard voilant un sommet, dans d'autres cas un véritable piqueté de petites ombres se distinguant sur un fond plus ou moins voilé. »

(1) Claude, De l'application des rayons de Röntgen au diagnostic de la tuberculose pulmonaire. *Congrès pour l'étude de la tuberculose chez l'homme et chez les animaux*, 1898.

L'appréciation de ces modifications si légères dans l'apparence de l'image thoracique est souvent délicate et nécessite une observation très attentive.

Pour mieux apprécier l'état du parenchyme pulmonaire, on pourra, comme l'indique le docteur Claude, porter son attention sur l'ombre projetée par la clavicule et les côtes ; souvent on pourra observer : « l'interruption de l'ombre de la clavicule, qui se détache en noir sur une partie de son étendue et dans l'autre apparaît plus claire, tamisée par une sorte de brouillard ». Le même auteur conseille également d'interposer entre le thorax et le foyer lumineux, au-devant de la région supposée malade, des corps donnant sur l'écran une opacité de valeur connue et pouvant servir de terme de comparaison pour évaluer le degré de perméabilité du poumon (objet en métal, en os, en peau, en verre, etc.).

Souvent, enfin, il sera nécessaire de compléter l'examen radioscopique par un examen radiographique, l'épreuve photographique mettant parfois en évidence des lésions que l'écran fluorescent n'aurait pas montrées.

Si les lésions sont plus avancées, l'image radioscopique donnera d'emblée et sans qu'il soit besoin de recourir à aucun artifice la notion d'un défaut de perméabilité pulmonaire ; elle fournira, ainsi que l'a formulé le professeur Bouchard, « des renseignements de tous points comparables à ceux de la percussion. L'air pulmonaire, qui se laisse traverser par les rayons de Röntgen, sert de caisse de renforcement aux bruits de la percussion. Quand l'air est chassé du poumon plus ou moins complètement par un liquide épanché ou par un tissu morbide infiltré, la clarté radioscopique du thorax diminue ou fait place à une obscurité plus ou moins complète et, en même temps, la sonorité normale s'atténue et peut être remplacée par la submatité ou par la matité absolue. »

Aux altérations du parenchyme pulmonaire viennent s'ajouter la congestion et l'œdème (Claude, Williams) qui accompagnent les lésions tuberculeuses, et qui diminuent encore la perméabilité pulmonaire, par conséquent la clarté de l'image radioscopique.

C'est donc à une zone d'obscurité, plus ou moins accentuée, plus ou moins étendue, limitée généralement à l'un des deux sommets que se réduisent les indications fournies par le poumon lui-même.

Le docteur Williams signale en outre une moindre étendue de l'image du côté malade correspondant à une diminution du volume du poumon.

Avant de pousser plus loin cette étude et de passer en revue les renseignements tirés de l'examen des organes voisins du poumon et de l'observation des mouvements thoraciques, renseignements qui entrent en ligne de compte et viennent corroborer les résultats donnés par l'exploration du poumon lui-même, il conviendrait de se demander quelle valeur il faut attribuer à ces modifications de l'image radioscopique normale et quel rang il faudra désormais leur réserver dans la séméiologie. En d'autres termes, les opacités même légères que l'on observe au début de la tuberculose peuvent-elles précéder les signes les plus précoces perçus par les

moyens cliniques habituels? Ont-elles à elles seules une valeur séméiologique suffisante? Enfin, les observe-t-on toujours dans les cas où les signes stéthoscopiques font présumer la tuberculose?

Les faits, quelque nombreux qu'ils soient, ne permettent pas de donner à ces questions une réponse définitive. Cependant, il est vraisemblable, comme M. Bouchard en signalait un exemple dès le début de ses études, que le diagnostic radioscopique peut devancer non seulement le diagnostic bactériologique, mais encore le diagnostic clinique fondé sur nos moyens ordinaires d'investigation. M. Rendu, puis M. Maragliano, M. Williams et, enfin, M. Béclère ont confirmé cette opinion et ont relaté un certain nombre de cas où le diagnostic d'altération du sommet avait pu être ainsi posé d'une façon tout à fait précoce, à défaut de toute autre indication clinique.

Par contre, il peut se faire que, chez des malades présentant des signes cliniques indubitables de tuberculose pulmonaire, l'écran fluorescent ne révèle aucune modification de l'image radioscopique. La situation, l'étendue, la coexistence ou l'absence d'emphysème expliquent ces apparentes contradictions.

Examen des mouvements diaphragmatiques. — Nous avons dit que d'autres indications précieuses pour le diagnostic précoce de la tuberculose pouvaient être tirées de l'observation de la mobilité du diaphragme. C'est un signe sur lequel Williams a tout d'abord insisté et dont il a montré la valeur. La même remarque a été faite après lui par de nombreux observateurs et, en particulier, par Maragliano, Bozzolo, Kelsch.

D'après M. Williams (1), la diminution de l'excursion diaphragmatique du côté malade constituerait un signe précoce, plus précoce parfois même que l'opacité des sommets. Le diaphragme s'abaisse moins du côté malade que du côté sain, et le phénomène devient plus évident encore dans les grandes inspirations; il s'accentue au fur et à mesure des progrès de la maladie, comme on peut s'en assurer en mesurant l'étendue de l'excursion du diaphragme à différentes périodes.

Quoi qu'il en soit, la valeur diagnostique de ce symptôme est évidemment restreinte par ce fait que l'ankylose partielle du diaphragme peut s'observer dans d'autres maladies du poumon. Elle a été signalée d'ailleurs dans la pneumonie, par Williams lui-même.

Examen des organes voisins. — L'examen radioscopique devra être complété par la recherche de l'état des organes voisins, dont les altérations coïncident si fréquemment avec la tuberculose pulmonaire. C'est ainsi qu'il ne faudra pas négliger d'étudier avec l'écran les plèvres, les ganglions, les côtes, etc.

Il sera parfois possible de découvrir ainsi l'existence d'une pleurésie dia-

(1) Williams Francis (de Boston), Les Rayons de Röntgen dans les maladies thoraciques. *Communication au Congrès des médecins américains*, 5 mai 1897.

The Röntgen Rays in medicine and surgery as an aid in diagnosis and as a therapeutic agent, New-York and London, Macmilliam, 1902.

phragmatique, se traduisant par une image moins nette, plus étendue du diaphragme et par une mobilité très limitée de ce muscle. On pourra reconnaître encore des opacités dues à un épaississement pleural : tantôt l'on diagnostiquera des adhérences pleurales étendues, une pachy-pleurite plus ou moins limitée, tantôt, au contraire, on pensera à des brides, à des fausses membranes bien circonscrites.

Dans d'autres circonstances, les rayons de Röntgen montreront un épanchement de la base, ou révéleront dans la partie moyenne du poumon une ombre en rapport avec un épanchement interlobaire qui souvent aurait pu échapper à un examen clinique.

La constatation d'adénopathies médiastines ou trachéo-bronchiques est aussi, dans certains cas, un élément important de diagnostic.

Les rayons X mettront alors en évidence des lésions ganglionnaires que la percussion n'avait pu faire soupçonner. « Ces masses ganglionnaires péribronchiques, dit le docteur Claude, se reconnaissent à des taches sombres irrégulièrement arrondies, plus foncées au centre et débordant l'ombre formée par la colonne vertébrale au niveau des 2e, 3e et 4e vertèbres dorsales; les taches se continuent jusqu'à la partie moyenne du thorax, et prédominent d'intensité le plus souvent d'un côté. »

Qu'il s'agisse donc des altérations commençantes du parenchyme pulmonaire, qu'il s'agisse de lésions pleurales ou ganglionnaires, l'examen radioscopique, complété au besoin par l'examen radiographique, sera, dans la période de début de la tuberculose pulmonaire, d'un précieux secours pour faire connaître l'existence et la nature de la lésion ; mais, il faut le répéter encore, la confirmation par les recherches cliniques habituelles ne devra jamais être négligée, et, même à la suite de ces examens répétés, le diagnostic ne pourra être définitivement établi que par la constatation du bacille de Koch dans les crachats.

§ 3. — Tuberculose confirmée.

Examen des poumons. — Même lorsque la nature tuberculeuse de l'affection pulmonaire est cliniquement affirmée, l'étude de l'image radioscopique du poumon fournira des renseignements importants sur l'étendue des lésions; il sera possible de suivre pour ainsi dire chaque jour la marche de la maladie, les progrès de l'envahissement pulmonaire ou, dans de trop rares circonstances, malheureusement, l'arrêt et la limitation du mal.

L'image radioscopique montre dans ces cas des ombres beaucoup plus opaques, beaucoup plus étendues que dans les premières périodes. Il n'est plus question de nuances, de diminution de la transparence normale, mais de taches plus ou moins foncées, dont l'existence apparaît, dès le premier examen, aux yeux les moins exercés.

Ces ombres à contours indécis et mal limités se traduisent parfois à leur partie centrale par une obscurité absolue, effaçant l'image de la clavicule ou des côtes ; elles se dégradent à la périphérie, où l'on observe une série de teintes de plus en plus claires, jusqu'au niveau du tissu sain, dont la transparence normale est totalement conservée.

Plus légères s'il s'agit d'infiltrations lobulaires confluentes, plus accentuées s'il s'agit d'infiltrations lobaires, comme le fait remarquer le docteur Maragliano, les ombres projetées sur l'écran par le poumon tuberculeux donnent des images pulmonaires très différentes suivant les cas. Tantôt l'on verra une zone opaque occuper tout un territoire pulmonaire, tantôt, au con-

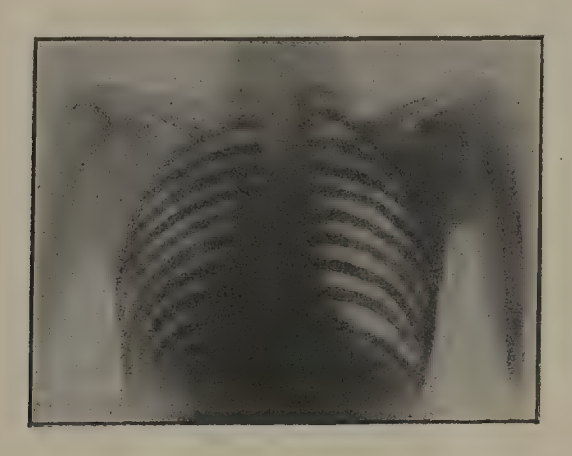


Fig. 330. — Tuberculose pulmonaire généralisée, 2e degré, homme de 35 ans.
Position frontale en décubitus dorsal. Incidence antérieure normale sur le milieu du sternum.

traire, les lésions étant disséminées, les taches apparaîtront elles-mêmes disséminées sur un fond relativement plus clair, et l'image pulmonaire prendra un aspect tacheté, moucheté, signalé par tous les auteurs.

Les photographies traduiront d'une façon plus précise encore ces différents états du parenchyme pulmonaire et serviront à mettre en évidence, d'une façon particulièrement instructive, les altérations situées dans les parties profondes du poumon, celles qu'il est le plus difficile de dévoiler par l'auscultation et par la percussion. Aussi n'est-il pas rare de voir à cette période une discordance assez grande entre les résultats fournis par les procédés usuels et les indications données par les rayons de Röntgen.

Dans ces cas où le diagnostic présente parfois de grandes difficultés, l'examen radiographique permettra de résoudre le problème et sera d'un grand secours au clinicien.

Examen des organes voisins. — A cette période plus encore qu'au début de la maladie, l'étude des lésions accessoires de la plèvre et des ganglions devra attirer l'attention de l'observateur.

Les épanchements pleuraux, les opacités de la séreuse viendront parfois

rendre l'examen plus difficile et pourront masquer des lésions pulmonaires sous-jacentes; il en est de même des adénopathies. Là encore c'est en combinant les différentes méthodes de recherche que le diagnostic pourra être fixé; mais les rayons de Röntgen fourniront des indications utiles et en localisant le champ des investigations cliniques auront encore rendu service à l'observateur.

Nous devons signaler ici un symptôme accessoire fourni par l'inspection des côtes, symptôme qui s'observe plus particulièrement à la période de la maladie que nous venons d'étudier. Tandis que chez les sujets sains les côtes paraissent faire à droite et à gauche un angle égal avec la colonne vertébrale, que les mouvements d'élévation et d'abaissement sont également symétriques, chez les sujets malades, au contraire, et en particulier chez les tuberculeux atteints de lésions déjà anciennes, mais unilatérales, les côtes paraissent plus inclinées et les mouvements ont moins d'amplitude du côté malade que du côté sain. Ce fait, qui a été signalé par MM. Bouchard et Guilleminot, a pu être mis plus nettement en évidence par la radiographie, grâce au procédé imaginé par le docteur Guilleminot, qui permet de dissocier les différentes phases de la respiration.

Tuberculose au 3e degré. — Cavernes pulmonaires

L'aggravation des symptômes fonctionnels et généraux révèle d'ordinaire l'évolution progressive de la tuberculose en même temps que les signes physiques indiquent la formation des cavernes. Ces signes, dits cavitaires, selon l'expression de M. Jaccoud, sont multiples; les principaux ont été décrits par Laënnec : ce sont la respiration caverneuse, le gargouillement et la pectoriloquie. Les indications fournies par l'auscultation et plus encore celles que donne la percussion (matité, son tympanique, son normal) diffèrent selon les conditions physiques et anatomiques de chaque cas.

Ces mêmes divergences vont se reproduire dans l'exploration radioscopique des poumons. D'ordinaire, lorsque les cavernes présentent d'assez grandes dimensions, qu'elles ne sont pas profondément situées et qu'aucune modification spéciale du parenchyme pulmonaire ou de la plèvre n'intervient, l'écran fluorescent donne une image telle qu'il est a priori facile de l'imaginer et qui est réellement caractéristique, c'est-à-dire des taches claires apparaissant sur un fond sombre. Ces taches sont généralement arrondies et entourées d'une zone plus foncée, nettement tranchée à sa circonférence interne, s'estompant à la périphérie. Tache claire tranchant sur un fond opaque : tel est donc l'aspect spécial des cavernes. Il est facile de se rendre compte de la production de ces phénomènes ; la destruction partielle du poumon et l'élimination de la partie ainsi détruite, en diminuant les conditions de résistance à la pénétration des rayons, fera apparaître au niveau de la caverne une zone claire; à la périphérie, au contraire, les tissus altérés et,

par conséquent, plus denses qui limitent l'excavation, donneront une opacité plus grande.

Mais cet aspect est loin d'être toujours réalisé chez tous les malades arrivés à la troisième période ; même dans les cas où l'examen par les procédés cliniques ordinaires révèle la présence certaine d'excavations, l'exploration radioscopique du thorax ne fait voir que les lésions dues aux altérations du 2e degré, c'est-à-dire une opacité plus ou moins étendue et nullement les zones claires caractéristiques des cavernes.

Les raisons de cette infériorité de la nouvelle méthode d'exploration sont multiples et faciles à comprendre. Une première cause d'opacité de la région



Fig. 331. — Tuberculose pulmonaire, homme de 60 ans.

Position frontale en décubitus dorsal. Incidence antérieure normale sur le milieu du sternum.

correspondant à la caverne peut tenir à ce que la cavité pulmonaire est remplie de liquide ; il est évident que, dans cette circonstance, il ne pourra y avoir, sur l'écran fluorescent, des variations dans l'éclairage de l'image pulmonaire ; l'opacité sera uniforme au niveau des lésions, parce que la résistance à la pénétration de la lumière sera égale dans les différents points.

Dans d'autres cas, la situation de la caverne aboutira aux mêmes résultats. Si la cavité est profondément située et si elle est entourée de parties altérées, si la caverne est pour ainsi dire entaillée au centre d'un bloc caséifié, il est encore évident que les conditions physiques ne seront pas modifiées au point de faire apparaître une zone de clarté. De même, l'existence d'épaississements pleuraux pourra compenser l'augmentation de perméabilité due à la fonte du poumon.

Il n'y a donc rien d'étonnant à voir, dans certains cas, un désaccord se produire entre les résultats fournis par les différents modes d'examen, et, d'ailleurs, ne savons-nous pas depuis longtemps que les signes stéthoscopiques varient suivant la situation, la dimension des cavernes et aussi suivant leu

état de vacuité ou de plénitude. Là encore il est permis de faire un rapprochement entre la percussion et l'exploration au moyen des rayons de Röntgen, et de montrer comment ces deux modes d'examen se contrôlent, se complètent réciproquement et peuvent, dans une certaine mesure, être opposés à l'auscultation.

Complications

Les complications sont fréquentes dans le cours de la tuberculose chronique des poumons ; c'est à la période ultime qu'elles apparaissent le plus souvent. L'exploration radioscopique les mettra souvent en évidence ou viendra confirmer les résultats d'un examen antérieur fait au lit du malade.

Nous avons déjà eu l'occasion de signaler les opacités de la plèvre, les pleurésies diaphragmatiques, les pleurésies avec épanchement. Il faudra avoir soin de noter l'état des ganglions, celui du cœur et du péricarde, il faudra encore étudier les modifications du poumon en dehors du siège présumé des lésions tuberculeuses ; l'emphysème pulmonaire pourra être reconnu ; la congestion, l'œdème pulmonaires pourront également être révélés par l'écran fluorescent ; c'est surtout dans les cas de pneumothorax que les renseignements fournis par les rayons de Röntgen seront plus intéressants. Il sera possible, en effet, grâce à eux, de reconnaître la situation et l'état de rétraction du poumon, la déviation du cœur.

S'il s'agit d'un hydropneumothorax ou d'un pyopneumothorax, il sera possible d'apprécier exactement la quantité de liquide, d'en noter les variations, d'étudier les changements de volume du poumon, et, comme le fait remarquer M. Béclère, « de diagnostiquer de bonne heure la cicatrisation des perforations pulmonaires ».

Les caractères propres à chacune de ces complications seront exposés à leur place ; nous ne pouvons que les indiquer ici.

§ 4. — **Valeur diagnostique de l'examen radiologique.**

Nous avons insisté à plusieurs reprises sur la nécessité de contrôler les résultats de l'examen radioscopique ou radiographique par nos moyens ordinaires d'investigation. C'est qu'en effet la nouvelle méthode ne peut fournir que des renseignements d'un même ordre, c'est-à-dire des variations dans la luminosité de l'image thoracique, variations pouvant aller de la simple diminution d'éclairage à l'opacité complète ; mais ces variations n'ont, par elles-mêmes, rien de pathognomonique, et toute altération pulmonaire, de quelque nature qu'elle soit, est susceptible de faire varier dans un sens ou dans un autre la transparence du poumon aux rayons de Röntgen.

Seules les localisations, l'étendue, certains caractères des ombres proje-

tées sur l'écran pourront, dans la majeure partie des cas, faire suspecter la présence de lésions tuberculeuses et corroborer ou infirmer les résultats d'un examen clinique antérieur.

Il n'en est que plus nécessaire de connaître les images fournies par les différentes altérations pulmonaires qui, seules ou associées, pourraient simuler la tuberculose à l'une quelconque de ses périodes. L'observateur pourra ainsi se mettre plus aisément en garde contre les erreurs d'interprétation inhérentes à la méthode et préciser dans les limites que nous venons d'indiquer le diagnostic fluoroscopique ou radiographique.

La bronchite aigüe, *a frigore* ou grippale, aussi bien que certaines formes de bronchite subaiguë ou chronique, peuvent en imposer pendant longtemps pour une tuberculose au début, et l'auscultation, même associée à l'examen bactériologique des crachats, laisse pendant longtemps le diagnostic en suspens. L'examen du thorax à l'aide des rayons de Röntgen fournira, dans bien des cas, des données plus précises, soit en faisant découvrir une obscurité plus ou moins accentuée à l'un des sommets, soit, au contraire, en ne révélant aucune différence de transparence pulmonaire et en montrant que les mouvements du diaphragme s'effectuent intégralement et également des deux côtés.

Dans d'autres circonstances, c'est l'image plus caractéristique d'une autre altération du parenchyme pulmonaire qui viendra lever les doutes. Dans l'emphysème pulmonaire, par exemple, l'aspect du thorax est un peu spécial. Le poumon est dans toute son étendue plus clair qu'à l'état normal, l'image pulmonaire est plus grande, le diaphragme est abaissé, il s'élève moins haut et s'abaisse davantage que dans les conditions ordinaires. Mais l'emphysème pourra parfois être une cause d'erreur; circonscrit au sommet du poumon, il pourra en effet faire méconnaître des lésions coexistantes peu accentuées.

Les opacités dues à la pneumonie ou à la broncho-pneumonie se reconnaîtront facilement. L'ombre portée sur l'écran par un foyer pneumonique subit des variations dans son étendue qui sont en rapport avec l'évolution même de la maladie. La broncho-pneumonie se distingue par une opacité moins accentuée, qui présenterait, d'après M. Maragliano, cette particularité de s'atténuer dans les fortes inspirations.

De même, la congestion pulmonaire, l'œdème pulmonaire donneront des ombres qui varieront d'un jour à l'autre dans leur intensité, dans leur étendue.

Par contre, les foyers de sclérose pulmonaire se modifient peu, et la distinction avec les lésions tuberculeuses est parfois difficile à faire. La même difficulté se présentera pour les dilatations bronchiques, dont l'aspect radioscopique ou radiographique ne diffère pas de celui des cavernes pulmonaires. Mais, en pareil cas, l'intégrité du parenchyme pulmonaire sera mis en évidence par l'examen radioscopique, tandis que s'il s'agissait de tuberculose l'altération ne serait pas aussi limitée, et l'écran fluorescent révélerait l'existence d'infiltration plus ou moins étendue.

Les corps étrangers des bronches, les broncholithes, la syphilis pulmonaires, la gangrène du poumon ne fournissent pas à l'observateur des renseignements différents de ceux que donnerait une lésion tuberculeuse occupant les mêmes sièges. Le diagnostic ne peut donc, dans ces cas, tirer grand profit de la découverte de Röntgen.

Le kyste hydatique du poumon donne une image à bords plus nets, tranchant d'une façon beaucoup plus marquée sur le reste du poumon que les foyers tuberculeux.

En opposition aux cas que nous venons d'énumérer et dans lesquels une affection pulmonaire ou pleurale peut simuler la tuberculose, il faut signaler d'autres faits où la présomption d'infection tuberculeuse résulte seulement d'un ensemble de signes généraux : fièvre, amaigrissement, affaiblissement, etc., sans que l'examen du thorax par l'auscultation comme par la percussion puisse fournir la moindre indication positive. Si l'exploration méthodique du poumon par les rayons de Röntgen vient à son tour apporter un résultat négatif, il sera permis de conclure avec plus de vraisemblance à l'intégrité du poumon et il faudra rechercher ailleurs les causes de l'état général du sujet.

De l'étude qui précède se dégage cette conclusion, c'est que l'application des rayons X au diagnostic de la tuberculose permettra souvent, dans les cas douteux, d'apporter un argument de plus dans un sens ou dans un autre et, en combinant les renseignements fournis par la nouvelle méthode à ceux donnés par les anciens procédés, d'arriver à la solution du problème si délicat qui se pose en pareil cas.

§ 5. — **Tuberculose latente.**

Jusqu'à présent nous n'avons envisagé que les cas où la tuberculose était au moins suspectée, où l'interrogatoire, les commémoratifs, les symptômes fonctionnels faisaient penser que l'appareil pulmonaire n'était pas indemne.

La radioscopie a permis de faire un pas de plus dans la recherche de la tuberculose, et, renversant les données ordinaires du problème, a pu faire soupçonner la tuberculose chez des sujets paraissant jusqu'alors en parfait état de santé. C'est ce qu'ont mis en évidence les recherches de M. Kelsch.

Sur 124 jeunes soldats entrés à l'hôpital pour des affections médicales ou chirurgicales diverses, étrangères à la tuberculose, MM. Kelsch et Boinon (1) constatèrent chez 51 d'entre eux, grâce à l'écran fluorescent, soit des signes de diminution de la perméabilité des sommets, soit des tuméfactions ganglionnaires, soit des épaississements pleuraux, soit encore des anomalies dans

(1) Kelsch et Boinon, Note sur le diagnostic précoce des affections tuberculeuses du thorax par la radioscopie. *Bulletin de l'Académie de médecine*, 21 décembre 189

la mobilité du diaphragme qu'ils pensent pouvoir rapporter, dans une partie au moins des faits, à une tuberculose locale, et ils concluent en disant : « l'écran fluorescent, en nous permettant en quelque sorte de faire l'anatomie pathologique du poumon *in vivo*, est venu confirmer les résultats que nous ont fournis les ouvertures cadavériques, à savoir que, une ou deux fois au moins sur cinq, il existe des lésions tuberculeuses latentes chez les jeunes gens ».

Des recherches semblables, entreprises dans un autre milieu que le milieu militaire, où une sélection a déjà été faite lors de la revision, fourniraient vraisemblablement une proportion de cas suspects de tuberculose encore plus considérable.

Il est bien évident que chez tous les sujets ainsi porteurs de lésions plus ou moins accentuées la tuberculose ne se révélera pas par ses symptômes habituels, soit qu'il ne s'agisse pas, en effet, de lésion tuberculeuse, soit que l'infection reste latente toute la vie; mais il est certain que, grâce à la découverte de Röntgen, le diagnostic précoce de la tuberculose pulmonaire pourrait être fait à une période où jusqu'alors aucun signe révélateur de la maladie ne pouvait fournir au médecin une indication du danger menaçant. Il résulte de ces recherches que l'exploration systématique du thorax au moyen des rayons X s'imposera dans tous les cas où une sélection devra être faite, et que pareil examen devrait être encore conseillé au même titre que l'analyse systématique des urines. Quoi qu'il en soit, il ne sera plus permis de négliger l'examen radioscopique des sujets prédisposés par l'hérédité à la tuberculose pulmonaire et aussi de tous ceux dont l'état général défectueux pourra faire suspecter une tuberculose latente alors même qu'aucun signe fonctionnel ne viendrait confirmer cette hypothèse.

Il est permis de supposer que l'on arrivera à dépister ainsi nombre d'infections tuberculeuses à une période très rapprochée de leur début, et que, la cure hygiénique pouvant être instituée plus tôt, le nombre des cas de tuberculose guérie sera encore plus considérable qu'à l'heure actuelle, où le diagnostic et, par suite, le traitement ne sont établis que relativement très tard, alors que la maladie présente une résistance beaucoup plus grande à nos moyens d'action.

A quelque période que l'on envisage la tuberculose pulmonaire, qu'il s'agisse de tuberculose latente, de tuberculose douteuse ou de phtisie confirmée, l'examen radioscopique ou l'examen radiographique sont donc susceptibles de rendre au médecin des services importants. Mais, dans tous ces cas, il ne faudra jamais demander aux rayons X des résultats définitifs, absolus, et toujours un examen clinique complet, comme également la connaissance exacte des circonstances spéciales à chaque sujet, permettra seulement de faire un diagnostic précis et, par suite, exact. La connaissance de la lésion, pas plus que la constatation du microbe, c'est-à-dire du germe n'apporte seule toute la solution du problème clinique ; ce n'est que par l'étude du terrain, c'est-à-dire du malade considéré dans son ensemble, âge, conditions étiologi-

ques, tares organiques, nutritives, héréditaires, que le médecin pourra trouver tous les éléments du diagnostic, du pronostic et aussi les bases rationnelles du traitement.

§ 6. — Phtisie aiguë.

L'étude des différentes formes de la phtisie aiguë est encore bien incomplète. Les conditions dans lesquelles se présentent les malades sont peu favorables à ce genre d'examen. Il n'est pas douteux cependant que, dans certains cas de granulie, l'écran radioscopique ne puisse être de quelque utilité en montrant des modifications même légères de l'image pulmonaire, correspondant à des lésions non décelables par nos procédés ordinaires d'investigation.

Au contraire, dans les formes de phtisie caséeuse, pneumonique ou broncho-pneumonique, les parties envahies projetteront des ombres plus ou moins foncées sur l'écran radioscopique. Aux lésions confluentes correspondent des opacités parfois absolues; les tubercules disséminés se traduisent par des taches mal délimitées, moins sombres, disséminées dans toute l'étendue du poumon.

DEUXIÈME SECTION. — AFFECTIONS NON TUBERCULEUSES DES BRONCHES ET DU POUMON (1)

§ 1. — Bronchites, sténose et dilatation des bronches.

La bronchite aiguë, la bronchite chronique n'ont pas de caractères radioscopiques qui leur appartiennent en propre. Seules les affections concomitantes (congestion, œdème) modifient l'image pulmonaire.

Dégagée de toute complication, l'inflammation bronchique n'apporte en effet aucun obstacle au passage des radiations, et la luminosité du thorax n'est en rien modifiée; le fonctionnement du diaphragme se fait normalement.

La sténose bronchique donnera des renseignements différents suivant le siège du rétrécissement. Seule la diminution du calibre d'une grosse bronche peut se révéler à l'examen radioscopique (2). Voici ce que l'on observe en pareil cas : Si l'on fait faire au sujet une profonde inspiration, et si on lui demande de rester en état d'inspiration forcée, on voit le médiastin se porter tout d'abord

(1) Voir en outre, page 685, Corps étrangers des bronches.

(2) Holzknecht, Ein neues radioskopisches Symptom bei Bronchialstenose, *Wiener Klin. Rundschau*, 1899.

vers le côté malade; mais ce déplacement n'est que momentané, et le médiastin reprend peu à peu sa position normale. L'interprétation des faits est facile à donner : le calibre de la bronche se trouvant diminué, l'air pénètre moins aisément de ce côté, tandis qu'il remplit immédiatement le poumon du côté opposé, il en résulte une différence de pression qui a pour effet de déplacer momentanément le médiastin ; mais l'air continuant à pénétrer dans la bronche rétrécie, l'équilibre ne tarde pas à se rétablir et les organes reprennent leur place primitive.

La dilatation des bronches ne peut se reconnaître objectivement à l'écran radioscopique, du moins chez la plupart des sujets ; ce n'est que dans les cas de dilatation ampullaire que l'on a pu parfois observer une image analogue à celle que donnent les grandes cavernes pulmonaires.

§ 2. — **Emphysème pulmonaire.**

L'emphysème pulmonaire peut être généralisé ou partiel.

L'examen radioscopique ne peut donner des renseignements de grande valeur si l'emphysème est partiel, car il est presque toujours accompagné de lésions autres du parenchyme pulmonaire, et l'image obtenue sur l'écran présentera une clarté inférieure, supérieure ou normale, selon que les deux lésions combinées se compenseront exactement au point de vue de la perméabilité à la lumière ou qu'au contraire l'une des deux altérations prédominera. C'est, selon l'expression de M. Béclère, la somme algébrique de la clarté plus grande et de la clarté moindre que l'on obtient dans ces cas.

L'emphysème généralisé donnera une image beaucoup plus caractéristique. La clarté de cette image sera plus grande que chez les sujets normaux, ce qui se conçoit facilement, puisque les parois alvéolaires sont diminuées d'épaisseur et qu'une plus grande quantité d'air est contenue dans la poitrine.

La distension alvéolaire a encore pour effet l'augmentation de volume du poumon, ce qui, sur l'écran, se traduit par une augmentation de l'image pulmonaire, dont tous les diamètres sont supérieurs à ce que l'on observe chez les sujets normaux.

En outre, si l'on observe les mouvements du diaphragme chez les emphysémateux, on constate que la situation du diaphragme est modifiée : il s'élève moins haut et descend plus bas qu'à l'état normal ; enfin, l'excursion diaphragmatique est moindre que normalement, ce qui résulte de la perte de l'élasticité pulmonaire. Donc, plus grande clarté et plus grande étendue de l'image pulmonaire, abaissement du diaphragme et moindre amplitude de ses mouvements, tels sont les signes qui, à l'examen par les rayons de Röntgen, caractérisent l'emphysème du poumon.

§ 3. — Sclérose pulmonaire.

La sclérose pulmonaire, comme on l'a dit, est loin de constituer une entité morbide bien définie ; elle s'observe dans des circonstances très différentes, et il n'est pas possible d'envisager chaque variété en particulier. D'ailleurs une étude aussi détaillée n'aurait qu'un intérêt restreint. Au point de vue qui nous occupe, il est possible de classer les scléroses pulmonaires en deux groupes : le premier comprendra les scléroses circonscrites, généralement consécutives à une lésion limitée du poumon (syphilis, tuberculose, dilatation bronchique) ; dans ces cas, la production du tissu fibreux concourra à projeter sur l'écran radioscopique une ombre plus ou moins foncée qui se confondra avec les modifications apportées à la luminosité du poumon par les lésions primitives.

Dans le second groupe, il convient de réunir les variétés de scléroses pulmonaires connues sous le nom de pneumonies chroniques, sclérose pleurogène, auxquelles on pourra ajouter les pneumoconioses et le poumon cardiaque. Si la sclérose diffuse a envahi la totalité ou tout au moins la majeure partie du poumon, l'image radioscopique se caractérise par des signes, en partie opposés à ceux qui appartiennent à l'emphysème. La clarté de cette image est moins vive, son étendue est diminuée et se modifie peu sous l'influence des mouvements respiratoires.

L'anatomie pathologique nous permet d'interpréter ces modifications. L'épaississement du tissu conjonctif, la diminution des cavités alvéolaires, l'augmentation de la densité du poumon ont pour conséquence de faire perdre au parenchyme pulmonaire une partie de sa perméabilité. Le poumon se rétracte, d'où diminution de l'image pulmonaire ; le diaphragme se trouve relevé, et les côtes paraissent moins éloignées du rachis. Enfin, la perte de l'élasticité pulmonaire a pour effet de limiter les mouvements d'expansion du diaphragme et des côtes.

Il est même possible, si certaines conditions sont réalisées (sujet jeune, mobilité des côtes, lésion unilatérale), de voir pendant les grands mouvements d'inspiration forcée le médiastin être entraîné et dévié vers le côté malade (Béclère) (1) ; il conserve cette position tant que le malade peut maintenir son thorax dilaté, contrairement à ce qui se passe dans les cas de sténose bronchique, où le médiastin est également dévié, mais reprend peu à peu sa position primitive à mesure que l'air peut pénétrer dans le poumon à travers la bronche rétrécie. Ce déplacement du médiastin est provoqué, dans la sclérose pulmonaire, par les mouvements de la paroi costale ; il peut être total ou partiel, selon que la sclérose est elle-même limitée ou non, selon que ce sont les côtes supérieures ou les côtes inférieures

(1) Béclère, *Société médicale des hôpitaux de Paris,* 6 juillet 1900.

qui jouent le plus grand rôle dans les inspirations, en un mot, que le mode respiratoire correspond au type costo-supérieur ou au type inférieur. Les rayons de Röntgen ont permis également de vérifier que, dans des cas de dextrocardie consécutifs à une sclérose pulmonaire, il y avait seulement déplacement du cœur vers la droite, et non véritable inversion.

§ 4. — Congestion et œdème pulmonaires. — Bronchopneumonie.

L'accumulation du sang dans le poumon (congestion) ou le passage dans le tissu pulmonaire de la sérosité sortie des vaisseaux (œdème) se traduit à l'examen radioscopique par des signes assez peu précis, mais dont le manque de précision même a une certaine valeur diagnostique. Il ne s'agit pas ici d'ombres très accentuées, à contours nettement délimités, mais seulement de diminution de la clarté normale, d'ombres de teinte légère dans une étendue plus ou moins considérable du poumon ; à la limite de la lésion, l'ombre s'estompe graduellement. Enfin, les mouvements respiratoires modifient cette opacité relative et l'atténuent au point même de l'effacer presque complètement pendant les grandes inspirations. L'observation du diaphragme ne révèle, d'ailleurs, aucune modification dans les mouvements; mais l'image de la ligne diaphragmatique est beaucoup moins nette lorsque la congestion se localise aux bases, comme c'est le cas dans les stases pulmonaires d'origine cardiaque.

Quant aux congestions actives, elles présentent une opacité en rapport avec la quantité de sang accumulé dans les poumons et s'accentuent encore si des foyers de bronchopneumonie viennent s'ajouter à l'élément congestif.

Les noyaux de bronchopneumonie diffus donneront des images assez vagues et très peu caractérisques, tandis que les formes confluentes se traduiront par une ombre plus accentuée, en rappor tavec le nombre de lobules hépatisés.

Cependant, il faut remarquer, avec MM. Variot et Chicotot (1), « le défaut de corrélation entre les signes optiques et les signes auditifs dans la majorité des cas ».

§ 5. — Pneumonies.

L'image radioscopique obtenue dans la pneumonie est, par contre, beaucoup plus précise et permet de reconnaître, correspondant au siège du foyer pneumonique, une zone d'opacité exactement délimitée, de teinte nettement

(1) Variot et Chicotot, *Soc. méd. des hôpitaux de Paris*, 22 déc. 1899.

foncée. Le diaphragme est moins mobile du côté malade, la limite inférieure de son excursion est considérablement relevée et même, dans les grandes inspirations, il descend beaucoup moins bas qu'à l'état normal.

Il est inutile d'insister sur l'importance que présenterait l'examen des malades atteints de pneumonie centrale, alors que les signes stéthoscopiques font parfois complètement défaut. Le diagnostic précoce en bénéficierait grandement. Il est malheureusement à craindre, étant donné la difficulté de déplacer ces malades fébricitants et la disposition actuelle de nos installations radioscopiques, qu'à part de rares exceptions, la clinique ne puisse en tirer de grands profits.

Cependant, MM. Variot et Chicotot ont pu, chez l'enfant, plus aisément transportable que l'adulte, diagnostiquer, à l'aide des rayons X, des pneumonies tout à fait latentes. Si les difficultés de l'examen limitent actuellement l'utilisation de la radioscopie pour le diagnostic de la pneumonie en évolution, ils permettent, au contraire, pendant la convalescence, de suivre au jour le jour la régression de la lésion pulmonaire. Le docteur Williams a observé ce fait, que nous avons eu l'occasion de vérifier nous-même à plusieurs reprises : c'est que, alors même que tout signe stéthoscopique a disparu, il est encore possible de constater pendant un temps assez long la persistance de l'ombre au niveau du foyer pneumonique, et l'examen journalier permet également de suivre le retour progressif du diaphragme à son fonctionnement normal, retour qui n'est absolument parfait qu'après la disparition de toute tache pulmonaire, révélant ainsi que le poumon ne recouvre qu'au bout d'un temps assez considérable sa complète élasticité.

§ 6. — **Gangrène pulmonaire. — Infarctus. — Affections diverses.**

Les foyers de gangrène pulmonaire projettent sur l'écran radioscopique une ombre bien circonscrite, dont les caractères n'ont par eux-mêmes rien de spécifique, mais qui, néanmoins, peut avoir pour le diagnostic une importance capitale. Si, en effet, les procédés d'examen ordinaires n'ont pas permis de révéler l'existence de foyers gangreneux, le diagnostic peut rester hésitant entre la gangrène et la bronchite fétide, et seuls les rayons de Röntgen sont capables de trancher la question. Dans d'autres cas, ils permettront de mieux localiser la lésion et de guider le chirurgien au moment de l'intervention opératoire.

Les *infarctus* du poumon ne se présentent pas davantage à l'examen radioscopique avec des signes spéciaux. Suivant leurs dimensions, ils se traduisent par une diminution de la clarté pulmonaire en des points limités ou, au contraire, ils déterminent sur l'écran des ombres en rapport avec l'étendue du territoire infiltré.

Ce que nous venons de dire pour la gangrène peut être répété à propos

de toute lésion déterminant dans l'intérieur du poumon la production d'une poche remplie de liquide clair (*kyste hydatique*) ou purulent (*abcès*), ou même donnant naissance à une masse solide, comme le cancer. Les rayons X viennent apporter un élément au diagnostic en indiquant l'existence d'une modification dans la constitution du parenchyme pulmonaire et en permettant de mieux localiser la lésion : ils montrent une ombre en un point de l'image pulmonaire. La situation, l'étendue, l'intensité de cette ombre renseignent sur le siège, l'étendue et parfois même, en une certaine mesure, sur la nature de l'affection.

CHAPITRE II

PLÈVRES

A l'état normal, la plèvre n'oppose au passage des rayons X qu'une résistance très faible, et, à coup sûr, incapable d'apporter un obstacle à l'examen du poumon.

Il n'en est plus de même à l'état pathologique, et l'image thoracique peut être modifiée, soit du fait des altérations de la séreuse elle-même, soit par suite de la présence, dans la cavité pleurale, d'un épanchement liquide ou gazeux.

En d'autres termes, qu'il s'agisse de pleurésie sèche, d'adhérences partielles ou de symphyse pleurale, l'épaississement de la plèvre arrêtera une partie des radiations lumineuses ; il en sera de même dans les cas de pleurésie séreuse, purulente ou hémorragique ; l'écran fluorescent et la plaque photographique donneront au clinicien des renseignements sur la nature et sur le siège de l'affection et aideront ainsi au diagnostic des maladies de la plèvre. Dans les cas de pneumothorax, c'est au contraire une exagération de la luminosité normale qui traduira aux yeux de l'observateur la présence d'un épanchement gazeux.

Mais pour la plèvre comme pour le poumon, ce n'est que par l'interprétation judicieuse des images obtenues et par la discussion des signes observés que l'examen au moyen des rayons de Röntgen aura toute sa valeur.

§ 1. — **Pleurésie avec épanchement.**

Les premières observations de pleurésie avec épanchement sont dues à M. le professeur Bouchard (1).

M. Bouchard a montré que « le côté du thorax occupé par le liquide pleu-

(1) Bouchard, *C. R. de l'Académie des sciences*, 7 déc. 1896.

rétique présente une teinte sombre qui contraste avec l'aspect clair du côté sain ; que si l'épanchement ne remplit pas la totalité de la cavité, le sommet de ce côté reste clair et que la teinte sombre dessine la limite supérieure de l'épanchement, telle qu'elle est établie par la percussion et par les autres moyens habituels de l'exploration physique ; que la teinte sombre se fonce de plus en plus à mesure que l'on l'observe en descendant de sa limite supérieure, où l'épanchement est plus mince, vers les parties inférieures, où il est plus épais et où son ombre se confond avec celle du foie.

« J'ai reconnu de plus, dit-il, que, dans ces trois cas de pleurésie, le médiastin, qui n'est pas apparent à l'état normal, porte une ombre à gauche

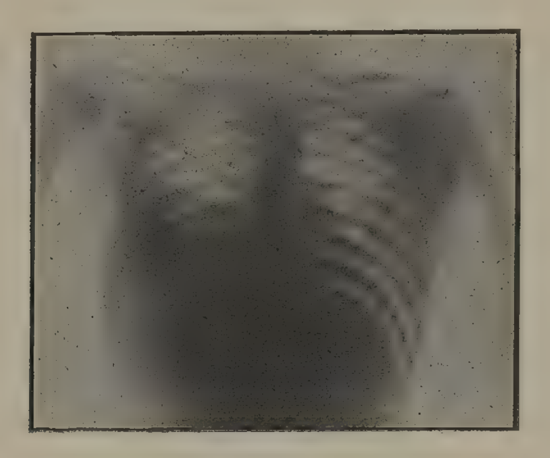


Fig. 332. — Épanchement pleurétique droit, femme de 30 ans.
Position frontale en décubitus dorsal. Incidence antérieure normale sur le milieu du sternum.

de la colonne et figure un triangle à sommet supérieur, et dont la base se continue avec le cœur.

« Ce triangle est l'ombre portée par le médiastin déplacé par la poussée latérale de l'épanchement et refoulé sur le côté sain du thorax. »

A la suite de la communication de M. Bouchard, l'examen des pleurétiques au moyen des rayons de Röntgen a été pratiqué fréquemment et a permis de mettre en évidence quelques détails utiles à connaître.

Le degré d'opacité varie avec la quantité du liquide épanché ; cette opacité peut être complète et, si l'épanchement est considérable, elle peut être égale à l'ombre portée par le foie. Il est alors impossible de différencier les limites des organes voisins, foie, diaphragme, côtes, cœur.

Les épanchements purulents se laisseraient plus facilement traverser par les rayons X que les épanchements séreux.

MM. Bergonié et Carrière (1) ont étudié avec soin les caractères de l'image radioscopique dans les cas d'épanchements pleuraux. Ils ont constaté dix

(1) Bergonié et Carrière, *Archives d'électricité médicale*, n° 79, 15 juillet 1899.

fois sur douze cas la superposition parfaite des zones de matité obtenues par la percussion et des zones d'ombres indiquées par les rayons X. Dans les deux cas où cette concordance a fait défaut, l'autopsie a permis ultérieurement de constater la présence d'adhérences.

Les mêmes auteurs ont observé le déplacement du liquide en rapport avec les différentes positions du thorax et avec les mouvements du diaphragme, tandis que la succussion hippocratique ne provoquait aucun changement. Si le malade est examiné debout ou assis, la ligne qui représente la limite supérieure de la zone obscure est généralement horizontale, le liquide obéissant aux lois de la pesanteur. Dans d'autres cas, l'on observe une courbe à convexité supérieure, comme dans la courbe de Damoiseau ; mais cette forme de la courbe ne persiste pas, et, après quelques grandes inspirations ou après une quinte de toux, la convexité s'affaisse, et la ligne devient horizontale.

La ligne qui limite la zone obscure peut, au contraire, être concave. Cet aspect serait dû, d'après MM. Bergonié et Carrière, à ce fait que le poumon, n'étant pas complètement refoulé par l'épanchement, déprime la surface du liquide de telle sorte qu'à la partie supérieure il n'existe qu'une couche mince du liquide, insuffisante pour absorber tous les rayons lumineux.

Si l'on fait coucher le malade dans le décubitus dorsal, le liquide s'étale dans la gouttière costo-vertébrale, et la zone obscure s'étend de la base jusqu'au sommet du poumon. Le liquide est donc capable d'obéir aux lois de la pesanteur. Il peut, dans certaines conditions, être influencé par les déplacements des organes voisins. Les mouvements communiqués par le diaphragme ne se voient qu'au début des pleurésies ou dans l'hydrothorax. Ils coïncident avec les mouvements respiratoires, le liquide s'abaissant pendant l'inspiration et s'élevant pendant l'expiration. Dans quelques cas, rares à la vérité, on a vu le liquide animé de mouvements synchrones aux pulsations cardiaques.

Les liquides épanchés dans les cavités pleurales refoulent et déplacent les organes voisins. Dès sa première communication, M. Bouchard signalait le déplacement du médiastin à gauche dans les cas de pleurésie droite. Dans les épanchements de la plèvre droite, le cœur est plus ou moins dévié vers la gauche, suivant l'abondance du liquide. Dans les épanchements moyens ou faibles, le déplacement est peu accentué, si le malade est examiné dans la position horizontale ; mais dans le décubitus latéral gauche, on peut observer des déplacements de 3 à 5 centimètres.

Dans les pleurésies gauches, le cœur se trouve porté vers la droite ; ce fait, depuis longtemps connu, a été confirmé par les recherches radioscopiques qui ont fixé en outre quelques points de détail encore en discussion. C'est ainsi que, grâce à l'écran fluorescent, on a pu constater que le cœur est toujours refoulé en masse, que la pointe ne dépasse jamais la ligne médiane et que les battements perçus à droite sont dus à l'oreillette droite ou à l'aorte et non à la pointe; qu'enfin l'axe du cœur est un peu relevé et tend

à devenir vertical, mais qu'il ne prend jamais une position oblique, comme l'admettaient beaucoup d'auteurs.

Les épanchements pleuraux agissent sur le diaphragme de deux façons différentes : soit par simple action mécanique, soit en déterminant, ainsi que l'a démontré M. Bard, de Lyon, une paralysie inflammatoire de ce muscle, — état paralytique que l'on ne constate que dans les cas d'affections inflammatoires de la plèvre et qui fait défaut dans la pleurésie cancéreuse et dans l'hydrothorax. A l'examen radioscopique, l'état paralytique se traduit par l'immobilité du diaphragme pendant les mouvements respiratoires.

§ 2. — **Épanchements hydro-aériques.**

Les renseignements fournis par les rayons de Röntgen, dans les cas d'épanchements hydro-aériques de la plèvre, ne sont pas moins intéressants.

Dans le pneumothorax pur, on observe une clarté beaucoup plus grande du côté malade que du côté sain. Le cœur et les vaisseaux peuvent être très déplacés, le diaphragme tout à fait déprimé.

Vers le hile, on voit l'ombre du poumon plus ou moins rétractée. Quand il y a à la fois dans la cavité pleurale un liquide et un gaz, c'est-à-dire dans les cas d'hydro-pneumothorax ou de pyo-pneumothorax, l'aspect de l'image radioscopique est tout à fait caractéristique. Il a été très justement comparé, par Williams, à celui que donnerait un bocal de verre à moitié plein d'encre. A la partie supérieure existe une zone claire en rapport avec la partie de la cavité pleurale occupée par le gaz. Inférieurement, une zone d'ombre très accentuée correspond à la couche liquide limitée par une ligne horizontale lorsque le malade est immobile, mais qui se modifie avec la position du sujet, tout en gardant l'horizontalité, de telle sorte que la couche liquide s'étalera sur les parties postérieures ou latérales du thorax selon que le malade sera dans le décubitus dorsal ou le décubitus latéral.

Si l'on vient à imprimer des secousses au malade comme dans la manœuvre usitée pour la recherche de la succussion hippocratique, on voit la ligne de séparation des deux zones, claire et sombre, s'onduler sous l'influence des secousses, et le liquide paraît agité de vagues.

Ce liquide est en outre animé de mouvements moins accentués ayant pour origine la transmission des mouvements respiratoires ou des pulsations cardiaques. M. le professeur Bouchard (1) et le docteur Kienbach (2), de Vienne, ont signalé le mouvement d'ondulations continu, à vagues très basses isochrones aux pulsations cardiaques. Ils ont montré en outre un double mouvement d'élévation et d'abaissement de la ligne de niveau du liquide pleural

(1) Bouchard, *loc. cit.*
(2) Kienbach, *Wiener klin. Wochenschrift.*, 1898, n° 22.

sous l'influence du rythme respiratoire. A chaque inspiration, on voit le liquide s'élever dans la cavité pleurale, tandis que, du côté sain, la voûte diaphragmatique s'abaisse. Pendant l'expiration, les phénomènes inverses se produisent. C'est un véritable mouvement alternatif de balance qui s'établit ainsi entre les deux côtés du thorax.

L'explication de ce phénomène, en apparence paradoxal, se trouve dans l'inertie du diaphragme, qui est presque la règle. Le diaphragme, devenu flasque dans la moitié correspondant au côté malade, ne participe plus au jeu normal de la respiration. Pendant l'inspiration, le diaphragme devrait normalement s'abaisser, entraînant avec lui la couche liquide contenue dans la plèvre; la contractilité musculaire ayant disparu, le diaphragme ne joue plus que le rôle d'une cloison inerte entre la cavité thoracique et la cavité abdominale. Mais par suite du fonctionnement de la partie restée indemne du diaphragme (et de l'activité des muscles inspirateurs accessoires), la pression intrathoracique diminue tandis que la pression abdominale augmente. Ces deux forces agissant toutes deux sur la portion inerte du diaphragme ont pour effet de la soulever, le liquide obéit à l'effort de la pression abdominale et s'élève dans la cavité thoracique.

L'exploration au moyen des rayons X ne permet pas seulement de reconnaître la présence d'un épanchement liquide ou hydro-aérique dans les plèvres, elle peut, en outre, grâce à des examens répétés, servir à mettre en évidence les progrès de la maladie. Dans la phase d'augment il sera facile de comparer l'étendue de la zone d'obscurité à chacun des examens successifs, de voir le degré du déplacement du cœur et du médiastin et de juger ainsi de l'augmentation de volume du liquide épanché. Il n'en est plus de même quand le liquide diminue : la zone d'ombres ne peut plus fournir d'indications valables, car l'épaississement pleural, les fausses membranes suffisent à empêcher la réapparition de la clarté dans les régions atteintes. C'est alors sur le retour du cœur à sa position primitive qu'il faudra se fonder pour juger du degré de résorption du liquide pleural.

De même, lorsque, dans un cas de pneumothorax, on verra le bord du poumon rétracté se rapprocher chaque jour davantage de la paroi latérale du thorax, on pourra penser que la perforation pulmonaire est cicatrisée.

§ 3. — **Épanchements localisés.**

L'examen radioscopique permettra encore de reconnaître les épanchements de petit volume, les pleurésies localisées, les collections liquides enkystées. Ces diverses variétés de pleurésie sont d'un diagnostic particulièrement délicat et elles échappent souvent à nos moyens habituels d'investigation. L'exploration des cavités pleurales au moyen des rayons de Röntgen, si elle est pratiquée avec soin et avec méthode, viendra heureusement suppléer à l'insuffisance de l'examen clinique pratiqué au lit du malade et

sera d'un puissant secours pour le médecin. La recherche de ces épanchements, petits ou localisés, ne laisse pas cependant de présenter quelques difficultés sur lesquelles il convient d'insister.

Autant il est aisé de reconnaître avec l'écran un épanchement abondant ou même moyen de la grande cavité pleurale, autant la recherche d'un épanchement limité au sinus pleural exige d'attention. Pour explorer convenablement les régions inférieures de la plèvre, il faut non seulement examiner attentivement le thorax en plaçant l'écran successivement sur la face antérieure, puis sur la face postérieure du thorax et en ayant soin de faire varier la situation de l'ampoule, mais il faut encore pratiquer l'examen latéral et porter son attention sur l'espace clair rétro-cardiaque. Il faut encore faire tourner le malade sur lui-même et l'examiner dans les positions intermédiaires ; parfois même il est bon de placer le sujet dans le décubitus latéral.

Pleurésie diaphragmatique. — Qu'elle soit sèche ou humide la pleurésie diaphragmatique se traduit par des signes cliniques assez nets ; elle peut cependant passer inaperçue, en particulier chez les tuberculeux. L'écran fluorescent montrera un épaississement de l'ombre du diaphragme, plus évidente à gauche, où la ligne noire, contrastant avec les zones claires du poumon et de l'estomac, est remplacée par une bandelette plus large, à contours mal limités ; les mouvements d'abaissement et d'élévation du diaphragme apparaîtront moins étendus et enfin le sinus costo-diaphragmatique pourra être partiellement ou totalement obscurci.

Pleurésie interlobaire. — Il n'y aura pas moins d'intérêt à soumettre à la nouvelle méthode l'espace interlobaire dont les épanchements peuvent varier de quelques grammes à un litre. Ces pleurésies sont rarement primitives, elles succèdent d'ordinaire à une pneumonie dont le siège est situé dans le voisinage de l'interlobe. Cette pneumonie est généralement reconnue par ses signes habituels; elle peut toutefois passer inaperçue. En tout cas, la défervescence ne se fait pas, les signes généraux persistent et, à part le cas de grand épanchement, le diagnostic clinique ne se fait que tardivement lorsqu'une vomique vient en même temps révéler la nature et le siège de l'affection pulmonaire.

Dans bien des circonstances l'examen du thorax au moyen des rayons X permettra de faire un diagnostic plus précoce, car la pleurésie interlobaire, si pauvre en signes stéthoscopiques, se traduit sur l'écran par une image très caractéristique et dont la disposition est facile à concevoir. Le lobe supérieur et les lobes inférieurs sains laissent en effet passer les radiations et apparaîtront avec leur aspect normal, mais à l'espace interlobaire correspondra une ombre en rapport avec l'épanchement. Un espace sombre entre deux zones claires, telle est la disposition particulière aux pleurésies interlobaires.

L'espace sombre présentera le siège et la direction de la scissure interlobaire ; sa limite supérieure est généralement bien nette, linéaire ; sa limite inférieure plus souvent moins précise. Il n'est pas besoin d'insister sur

l'intérêt qu'il y a à diagnostiquer de bonne heure une pleurésie de ce genre, pleurésie souvent purulente et qui peut être justifiable d'une intervention opératoire.

L'exploration radioscopique pourrait encore aider au diagnostic des pleurésies médiastines, qui se traduiraient par un épaississement de l'ombre médiane.

Les pneumothorax circonscrits se présenteront aussi à l'observateur sous l'aspect d'un espace clair sur un fond sombre et, dans certains cas, le diagnostic avec les grandes cavernes pulmonaires ne laissera pas de présenter quelques difficultés que l'examen méthodique du malade permettra d'ordinaire de résoudre.

On pourrait encore, grâce aux rayons X, reconnaître les cavités consécutives à l'empyème, les fistules thoraciques. Il sera bon dans ces cas d'introduire dans le trajet fistuleux, comme le conseillent MM. Arnozan et Bergonié, une sonde armée d'un mandrin de plomb, pendant que l'on fera l'examen radioscopique.

Pleurésies sèches. — A la suite d'une pleurésie séreuse et souvent pendant un temps assez long après la guérison, il est possible de constater des obscurités correspondant à l'épaississement des feuillets pleuraux et l'on peut poser ainsi un diagnostic rétrospectif.

Dans d'autres cas, l'on notera, en outre, la diminution de l'expansion thoracique, la moindre étendue des mouvements du diaphragme, le déplacement du médiastin, la rétraction de la paroi costale, et l'on pourra penser à l'existence d'une symphyse pleurale. Dans le cas de symphyse de la plèvre droite, le cœur peut même être entraîné vers la droite.

Il n'est pas jusqu'aux pleurésies sèches circonscrites, dont le diagnostic clinique présente souvent tant de difficultés, qui ne puissent être mises en évidence par l'écran fluorescent. L'existence d'une zone plus ou moins obscure, plus ou moins étendue, attirera l'attention du médecin vers tel ou tel point de la plèvre, ou viendra confirmer les résultats d'un examen clinique antérieur.

Il est important de savoir que l'existence de ces épaississements des feuillets pleuraux de ces pleurésies circonscrites ne peut être révélée que par une recherche attentive et surtout méthodique ; ils pourraient en effet aisément échapper à un observateur inexpérimenté ou à la suite d'un examen trop rapide. Comme le fait très justement remarquer M. Béclère (1), les ombres quise produisent en pareil cas varient d'intensité suivant la position respective occupée par le malade et par l'écran. Une pleurésie sèche, limitée à la base du thorax en arrière, sera par exemple nettement perceptible à l'examen postérieur et disparaîtra si l'écran est appliqué à la partie antérieure du thorax. Mais c'est surtout à propos de la recherche de l'épaississement de la plèvre

(1) Béclère, L'examen radioscopique des plèvres interlobaires et le diagnostic de la sclérose de l'interlobe. *Presse médicale*, n° 18, 1er mars 1902.

interlobaire que cette remarque présente de l'intérêt. L'espace interlobaire est en effet invisible quand le faisceau des rayons émanés de l'ampoule rencontre le plan dans lequel il est compris suivant une direction perpendiculaire ou légèrement oblique ; il apparaît au contraire lorsque, par suite du changement de position de l'ampoule et du malade, on parvient à placer la double lame pleurale et l'ampoule dans le même plan. Dans le premier cas, l'obstacle apporté à la pénétration des radiations n'est constitué que par l'épaisseur même du feuillet pleural, tandis que dans le second c'est toute la hauteur de ce même feuillet épaissi que les rayons auraient à traverser.

M. Béclère a le premier constaté ces faits et en a donné l'explication expérimentale et, pour ainsi dire, géométrique à l'aide d'un rectangle de carton auquel il fait prendre successivement les diverses positions occupées par l'espace interlobaire et qui donne soit une ombre à peine sensible, soit une ombre nettement perceptible.

Lorsque l'on se place dans les conditions que nous venons d'indiquer, la sclérose de l'interlobe se traduit par une ombre linéaire obliquement dirigée de l'aisselle vers l'ombre cardio-aortique et séparant en deux l'espace clair correspondant au poumon sain, demeuré perméable.

Docteur P. Le Noir,

Médecin des hôpitaux.

VI. — LE MÉDIASTIN

GÉNÉRALITÉS

La cage thoracique est verticalement divisée d'avant en arrière, par les feuillets pleuraux, en trois cavités secondaires, deux cavités latérales et une cavité médiane qu'on appelle le médiastin.

Les cavités latérales, circonscrites par la mince barrière à claire-voie des côtes et des cartilages costaux, logent seulement les poumons, dont les vésicules remplies d'air s'opposent à peine, en raison de leur faible densité, au passage des rayons de Röntgen.

La cavité médiane ou médiastin occupe l'espace compris entre le sternum, la colonne vertébrale et la face interne des deux poumons. Non seulement ses parois osseuses forment la partie la plus épaisse et la mieux fermée de la cage thoracique, mais elle est comblée par de nombreux organes qui, à l'exception de la trachée et des grosses bronches remplies d'air, sont entièrement composés de tissus denses et de liquides peu perméables aux rayons de Röntgen.

Cette différence explique comment l'image radioscopique du thorax présente, à l'examen antérieur ou postérieur, trois zones verticalement disposées dont les teintes s'opposent fortement, deux zones latérales claires, qui correspondent aux poumons revêtus de leur enveloppe séreuse, et une zone médiane sombre, qui correspond au médiastin.

L'ombre médiane qui figure le médiastin se compose de deux parties, superposées et continues, de formes bien distinctes : une partie inférieure, de forme irrégulièrement arrondie, à contours mouvants, qui représente principalement le sac péricardique et son contenu ; une partie supérieure, de forme rectangulaire, à bords presque verticaux et parallèles, qui répond aux organes interposés, au-dessus du sac péricardique, entre la première pièce du sternum et les quatre à cinq premières vertèbres dorsales.

Cette délimitation très nette de l'ombre médiane conduit à adopter, au point de vue radiologique, la division, déjà sanctionnée par l'anatomie topographique (Richet), du médiastin en deux étages, le médiastin inférieur et le médiastin supérieur.

Le médiastin inférieur renferme principalement le cœur, situé, derrière le sternum, à l'intérieur du sac péricardique ; il contient aussi, entre le sac péricardique et la colonne vertébrale, la partie inférieure de l'œsophage et de l'aorte thoracique descendante.

Le médiastin supérieur comprend, d'avant en arrière, trois plans principaux : le premier est formé surtout par la veine cave supérieure, la portion ascendante de l'aorte et le tronc de l'artère pulmonaire ; le second est celui de la trachée, des grosses bronches, des vaisseaux sanguins et des ganglions lymphatiques qui, avec les bronches, forment de chaque côté le hile du poumon, c'est aussi celui de la portion horizontale de la crosse de l'aorte ; au troisième plan appartiennent la portion descendante de la crosse aortique et la partie moyenne de l'œsophage.

C'est à dessein que dans l'énumération qui précède ont été omis le canal thoracique, les veines azygos, les nerfs pneumogastriques et les nerfs phréniques : leurs dimensions exiguës les rendent inaccessibles à l'exploration. Il faut cependant mentionner, à la partie la plus élevée du médiastin supérieur, le thymus, les deux troncs brachio-céphaliques veineux, dont la réunion forme la veine cave supérieure et les trois artères nées de la convexité de la crosse aortique, le tronc brachio-céphalique, la carotide primitive gauche et la sous-clavière gauche.

L'usage, en parlant du médiastin, est d'entendre à la fois le contenant et le contenu, la cavité et les organes qu'elle renferme. La pathologie du médiastin, en prenant le mot dans ce sens, s'est enrichie, grâce à la découverte de Röntgen, d'un très précieux chapitre de séméiologie. A ce point de vue spécial, la pathologie du médiastin comprend trois divisions qui seront exposées dans l'ordre suivant : 1° les lésions des parois du médiastin ; 2° les lésions des organes du médiastin ; 3° les déplacements du médiastin.

Avant d'aborder cette étude pathologique, il est tout à fait indispensable de connaître exactement les rapports des organes du médiastin à l'état physiologique et toutes les particularités de l'ombre qu'ils projettent sur l'écran fluorescent. Pour la notion de ces rapports il convient de se reporter aux traités d'anatomie descriptive et topographique. Quant aux particularités de l'image radioscopique du médiastin normal, on en trouvera une longue étude et une minutieuse description dans la partie de cet ouvrage consacrée à l'exploration du thorax en général. On y trouvera aussi l'exposé des divers modes d'examen du médiastin avec tous les détails que comporte le manuel opératoire.

CHAPITRE PREMIER

LÉSIONS DES PAROIS DU MÉDIASTIN

Il sera question seulement des parois osseuses, sternum et colonne dorsale, de cette dernière même presque exclusivement.

Sternum. — Le sternum, en raison de sa situation superficielle sous la peau, de sa structure très simple et de son peu d'épaisseur, a rarement besoin d'être exploré à l'aide des rayons de Röntgen. Cette exploration peut cependant révéler l'existence, le siège et les limites des tumeurs de diverse nature implantées à la face profonde de l'os, qu'il s'agisse d'exostose, d'abcès ou de néoplasme. C'est dans l'examen latéral, l'écran fluorescent appliqué contre l'une ou l'autre aisselle, que l'ombre du sternum, traversé dans le sens de sa largeur par les rayons de Röntgen, se profile le plus distinctement et se détache le mieux sur la zone claire qui la sépare de l'ombre cardiaque. Il est bon de passer par degrés insensibles de l'examen latéral droit à l'examen antérieur et de celui-ci à l'examen latéral gauche, en faisant tourner le malade très lentement de 180° autour de l'axe vertical : c'est le moyen de voir et d'étudier sur l'écran toutes les images du sternum que donne le passage oblique des rayons au travers du thorax, dans la série des directions intermédiaires aux directions transversales de gauche à droite et de droite à gauche. L'emploi d'un diaphragme de plomb, du diaphragme-iris de préférence, est d'ailleurs à peu près indispensable.

Colonne vertébrale. — L'exploration de la colonne vertébrale, beaucoup plus importante que celle du sternum, présente aussi plus de difficultés. Le docteur Robert Kienböck, de Vienne, lui a récemment consacré un travail intéressant. Comme le dit justement cet auteur, et contrairement à l'opinion généralement répandue, la colonne vertébrale est aujourd'hui, grâce au perfectionnement des instruments et de la technique, complètement accessible à l'exploration, dans toute son étendue. L'emploi des bobines puissantes, des interrupteurs rapides et des ampoules munies de l'osmo-régulateur de Villard permet d'obtenir d'excellentes images de tous ses segments, dans toutes les directions, aussi bien sur l'écran fluorescent que sur la plaque sensible.

Tandis que pour les organes intrathoraciques, l'examen radioscopique est le procédé d'exploration le plus avantageux, pour la colonne vertébrale, au contraire, et particulièrement pour la colonne dorsale, c'est la radiographie qui doit être préférée : l'écran fluorescent ne permet de reconnaître, avec beaucoup de temps et d'efforts, qu'une partie seulement des détails visibles sur la plaque.

L'idéal est de pouvoir faire cette radiographie pendant le temps très court où le malade suspend sa respiration : ainsi la netteté de l'image n'est pas troublée par le va-et-vient des organes placés au-devant de la colonne vertébrale. Mais une telle condition n'est pas toujours réalisable, il faut au moins s'efforcer de diminuer, autant que possible, la durée de la pose. Tantôt la plaque est appliquée également sur les deux moitiés de la région dorsale et l'ampoule placée de telle sorte que le rayon normal traverse les vertèbres directement d'avant en arrière ; tantôt la plaque est appuyée seulement sur une des moitiés du dos du sujet assis et fixé, tandis que le rayon normal à la plaque traverse les vertèbres obliquement, soit de gauche à droite, soit de droite à gauche, cette dernière direction devant être habituellement préférée. Dans le premier cas, on voit se dessiner nettement sur les épreuves l'image du corps des vertèbres sous forme de rectangles sombres, superposés et séparés par des bandes claires qui correspondent aux fibro-cartilages intervertébraux ; l'image des apophyses transverses et des côtes est aussi très apparente. Quant aux apophyses épineuses et surtout aux arcs vertébraux, on les distingue à peine ; cependant on aperçoit sur l'ombre de chaque corps vertébral, aux extrémités de son plus grand diamètre, deux taches en forme de petits anneaux qui correspondent à l'insertion des arcs sur les corps vertébraux. On distingue aussi qu'à la projection, alternativement sombre et claire, des corps vertébraux et de leurs fibro-cartilages se superpose la projection alternativement sombre et claire des arcs vertébraux et des espaces intermédiaires fermés par les ligaments jaunes ; à ces espaces correspondent sur l'image radiographique de la colonne dorsale, particulièrement chez les enfants, des espaces clairs, de forme ovalaire, à plus grand diamètre transversal, que le docteur Kienböck compare assez exactement à des *yeux de paon*. Le second mode d'examen, avec la direction oblique des rayons, montre beaucoup mieux l'ombre des arcs vertébraux, celle des apophyses épineuses et même celle des corps vus de profil ; mais à ces ombres viennent se superposer, sous la forme d'un ruban médian, irrégulièrement tacheté et dentelé, l'ombre des apophyses transverses et celle des apophyses articulaires des deux côtés.

En résumé, l'image radiographique de la colonne dorsale, quelle que soit la direction des rayons qui la traversent, est toujours une image complexe, formée d'ombres superposées qui correspondent à des parties osseuses situées dans des plans très inégalement distants de la plaque sensible. Aussi les résultats fournis par la radiographie stéréoscopique sont-ils, en pareil cas, très supérieurs à ceux que donne la radiographie simple, comme le

démontre l'exemple suivant : Une jeune fille avait reçu dans la poitrine, sous la clavicule gauche, une balle de revolver et était devenue presque immédiatement paraplégique. Sur la demande du docteur Walther, qui la soignait à l'Hôtel-Dieu, je fis, à l'aide d'une petite machine statique mue à la main, la stéréoradiographie de la colonne dorsale ; l'image de la balle apparut, au stéréoscope, dans le canal rachidien, immédiatement en avant de la lame droite de la seconde vertèbre dorsale, et c'est en ce point précis que le chirurgien la découvrit en réalité. Une radiographie simple, faite tout d'abord, avait bien montré l'image de la balle à la hauteur du corps de la seconde vertèbre dorsale, mais n'avait pu en révéler, comme la stéréoradiographie, le siège exact en profondeur.

Ce n'est pas seulement quand la colonne dorsale est le siège de corps étrangers métalliques que la radiographie et surtout la stéréoradiographie peuvent éclairer le diagnostic et le traitement. D'autres lésions traumatiques, les fractures et les luxations vertébrales, ne sont pas moins justiciables de ce nouveau procédé d'exploration. Après un *traumatisme*, il est parfois très difficile de distinguer si les accidents paralytiques dépendent simplement d'une compression médullaire et radiculaire que peut faire cesser l'intervention opératoire ou s'ils sont dus à des lésions spinales contre lesquelles le chirurgien est désarmé. Les rayons de Röntgen peuvent aider à la solution du problème et tantôt commander l'action chirurgicale, tantôt au contraire l'interdire s'ils montrent les éléments vertébraux indemnes de tout déplacement.

La radiographie vient en aide à l'étude des *malformations congénitales* et des arrêts de développement de la colonne dorsale. Elle sert à rendre plus précis le diagnostic anatomique des déviations acquises ; particulièrement dans la scoliose, si fréquente chez les adolescents, surtout chez les jeunes filles, elle permet de mesurer exactement le degré de courbure du rachis, en même temps qu'elle rend manifestes la torsion et la déformation des vertèbres. Rien ne vaut une série de bonnes radiographies, prises à des intervalles convenables, pour marquer les étapes de l'évolution de la scoliose, apprécier les résultats du traitement et juger dans quelle mesure peut être atteint le but poursuivi.

La radiographie est utile encore dans l'étude des diverses formes *d'ankylose de la colonne dorsale*, dans l'ankylose exclusivement rachidienne signalée par Bechterew, comme dans l'ankylose concomitante des articulations du rachis et de la racine des membres, que Pierre Marie a décrite sous le nom de *spondylose rhyzomélique*. Du vivant des malades, elle révèle les ponts osseux qui unissent les corps ou les lames des vertèbres, la soudure des apophyses articulaires, la soudure des corps avec les corps vertébraux voisins, les prolongements osseux des apophyses épineuses. Chez les rhumatisants chroniques qui présentent de la raideur dorsale et dont le rachis est soupçonné de spondylose, la radiographie devient un précieux élément pour le diagnostic, le pronostic et les indications d'un traitement mécanique, en

révélant l'existence ou l'absence de productions osseuses de nouvelle formation.

Il est une autre maladie où la radiographie peut révéler l'existence de ponts osseux jetés entre les vertèbres, c'est *l'actinomycose*. D'ailleurs, dans tous les cas de tumeur rachidienne supposée, quelle qu'en soit la nature, cancéreuse, syphilitique ou autre, la radiographie peut aider au diagnostic en montrant s'il s'agit d'une lésion primitivement vertébrale, avec compression médullaire consécutive, ou si l'intégrité apparente des vertèbres plaide en faveur d'un néoplasme médullaire.

C'est surtout dans la tuberculose vertébrale, dans le *mal de Pott dorsal*, que la radiographie rend des services. A une période avancée de l'affection, elle montre le siège et l'étendue des lésions destructives, l'effondrement et la disparition plus ou moins complète du corps des vertèbres. S'il existe un abcès par congestion, tantôt elle en révèle l'existence en faisant voir une large zone sombre, plus ou moins fusiforme, superposée à l'ombre rachidienne ; tantôt, quand l'abcès est fluctuant sous la peau, et surtout s'il a reçu préalablement dans sa cavité une injection de glycérine iodoformée, elle en précise très exactement les limites.

Tout au début de l'affection, elle peut aider à rendre le diagnostic plus précoce et, par suite, la thérapeutique plus efficace. Enfin, pendant la durée du traitement, elle révèle l'évolution cachée de la maladie et, dans les cas favorables, marque le moment où les lésions destructives font place à un processus de réparation. On trouvera dans le bel atlas de radiographie de MM. Redard et Laran la reproduction de toute une série de clichés qui montrent au mieux les services rendus par les rayons de Röntgen au diagnostic des affections vertébrales, en particulier dans la scoliose et dans le mal de Pott.

CHAPITRE II

LÉSIONS DES ORGANES DU MÉDIASTIN

Les lésions des organes contenus dans le médiastin peuvent être énumérées, dans l'ordre anatomo-topographique, d'après la division précédemment signalée de cette cavité en deux étages, le médiastin inférieur et le médiastin supérieur. Pour la commodité de l'exposition, il semble cependant préférable de les décrire dans l'ordre physiologique, suivant qu'il s'agit d'organes appartenant à l'un des grands appareils circulatoire, respiratoire ou digestif. C'est ce dernier mode qui sera adopté ici, et on étudiera successivement : 1° le péricarde, le cœur et les gros vaisseaux ; 2° la trachée, les grosses bronches et les ganglions lymphatiques qui les accompagnent ; 3° l'œsophage.

§ 1. — Péricarde, cœur et gros vaisseaux.

A. — Péricarde

Le sac péricardique forme, à l'état normal, avec le cœur enfermé dans sa cavité, un tout indivisible à l'égard des rayons de Röntgen.

Pneumopéricarde. — Pour qu'il devienne possible, à l'état pathologique, de distinguer l'ombre du contenant de l'ombre du contenu, il est nécessaire que les deux feuillets de la séreuse péricardique soient écartés et séparés l'un de l'autre par une certaine quantité de gaz. C'est seulement dans le pneumopéricarde avec ou sans épanchement liquide concomitant que cette condition est réalisée. Mais on sait combien le pneumopéricarde est une affection rare. Sa rareté est telle qu'il n'existe, à ma connaissance, aucune observation publiée de cette affection où l'examen radioscopique ait été mis en œuvre. Cependant on peut prévoir, dès maintenant, que le pneumopéricarde se révélera, à l'examen radioscopique, par des signes analogues à ceux du pneumothorax, puisque, de part et d'autre, les conditions physiques sont semblables.

Dans toutes les autres affections du péricarde, il en est de l'ombre cardiaque obtenue sur l'écran fluorescent ou sur la plaque sensible comme de

la matité cardiaque obtenue par la percussion ; pas plus dans l'une que dans l'autre il n'est possible de faire la part respective du cœur, de son enveloppe et de la cavité intermédiaire. Cependant l'examen radioscopique montre, dans la forme et dans les mouvements de l'ombre cardiaque, certaines modifications qui, sans être pathognomoniques, doivent éveiller dans l'esprit du médecin averti l'idée soit d'un épanchement liquide, soit d'une symphyse du péricarde.

Épanchements péricardiques. — Les épanchements liquides du péricarde, pour peu qu'ils soient assez abondants, se manifestent par trois signes radioscopiques : une augmentation d'étendue dans tous les sens de l'ombre cardiaque ; un changement dans la forme du contour de cette ombre ; une disparition plus ou moins complète des mouvements rythmiques qu'elle présente à l'état normal.

L'hypertrophie ou la dilatation du cœur peuvent, au même titre que l'épanchement péricardique, provoquer un accroissement d'étendue de l'ombre cardiaque ; ce signe isolé n'a donc guère de valeur pour le diagnostic, sauf cependant s'il dépasse certaines limites que l'hypertrophie et la dilatation cardiaques sans épanchement atteignent tout à fait exceptionnellement. Il vaut surtout par les signes qui l'accompagnent et par les conditions dans lesquelles il survient : ainsi, quand l'examen radioscopique, répété à bref délai, permet de constater un notable agrandissement de l'ombre cardiaque, rapidement survenu en dehors des symptômes de l'insuffisance aiguë du myocarde, l'existence d'un épanchement péricardique devient très probable.

Le changement dans la forme du contour de l'ombre cardiaque consiste surtout en ce que ce contour tend à devenir plus régulièrement circulaire, sauf dans la portion où il est confondu avec l'ombre diaphragmatique. Dans certains cas, l'ombre cardiaque reproduit la forme dite *en brioche* que présente, à la percussion, la zone de matité précordiale. Toutefois, ces changements ne sont pas constants, car le contour de l'ombre cardiaque ne dépend pas seulement de l'abondance de l'épanchement ni du volume variable du cœur sous-jacent, hypertrophié ou dilaté, il dépend en grande partie des adhérences qui, si souvent, cloisonnent le sac péricardique.

Les mouvements rythmiques d'expansion et de retrait que présente à l'état normal l'ombre cardiaque, traduisent aux yeux les alternatives de vacuité et de réplétion, de systole et de diastole des cavités du cœur, particulièrement du ventricule gauche. Ces mouvements sont, en règle générale, d'autant plus accentués et d'autant plus étendus que le cœur hypertrophié se contracte avec plus de force ; mais on comprend facilement qu'ils tendent à diminuer et même à disparaître quand une couche de liquide enveloppe cet organe et transmet, en vertu du principe de Pascal, les changements de pression qui résultent de ses contractions, non plus en quelques points seulement, mais sur toute l'étendue de la surface externe du sac péricardique. C'est ainsi que la diminution et la disparition plus ou moins complète des mouvements

de l'ombre cardiaque, dans les cas d'épanchement péricardique, forment avec les dimensions exagérées de cette ombre un contraste frappant. A mesure que l'épanchement augmente et que la tension devient plus forte à l'intérieur du péricarde, l'ombre cardiaque grandit et paraît plus immobile.

Reconnaître un épanchement péricardique d'après les symptômes classiques, signes physiques et troubles fonctionnels, est tantôt assez simple, tantôt au contraire très difficile. Dans le premier cas, les rayons de Röntgen ne font qu'ajouter à la précision du diagnostic en montrant exactement l'étendue de l'aire occupée par le péricarde distendu ; ils permettent même de mesurer approximativement les variations de quantité du liquide épanché d'après les changements qui surviennent, au cours de la maladie, dans les dimensions de l'ombre cardiaque. Dans le second cas, au contraire, l'examen radioscopique peut devenir l'élément principal du diagnostic quand les signes habituels font défaut et que l'attention du médecin est attirée par d'autres troubles fonctionnels que les troubles cardiaques. On me permettra de citer deux faits, l'un de péricardite chronique, l'autre de péricardite aiguë où l'examen radioscopique permit seul de reconnaître la présence d'un épanchement liquide dans le péricarde.

La première observation est celle d'un adulte tuberculeux, atteint d'emphysème pulmonaire généralisé et présentant divers signes d'insuffisance cardiaque que l'emploi de la digitale fait rapidement disparaître. A ce moment, la sonorité pulmonaire recouvre à tel point la zone normale de matité cardiaque que c'est à peine si la percussion forte permet de délimiter dans la région précordiale une aire assez étroite de submatité. Cependant, l'examen radioscopique montre une image cardiaque extraordinairement agrandie dans tous les sens et dont le contour demeure invariablement fixe ; ses dimensions transversales sont exagérées à ce point que, de chaque côté, elle est peu distante de l'ombre de la paroi axillaire et simule, au premier coup d'œil, jeté sur l'écran, un épanchement pleurétique double. Il s'agit, à n'en pas douter, d'une péricardite chronique tuberculeuse avec énorme épanchement, inaccessible à la percussion.

Dans la seconde observation, il s'agit d'une fillette de sept ans, qui, dans le décours d'une scarlatine, est prise de dyspnée avec fièvre. L'auscultation et la percussion ne révèlent rien d'anormal dans la région du cœur, mais font découvrir à la partie moyenne du poumon gauche, en arrière, une zone de matité, de souffle et d'égophonie. Tandis qu'on discute sur l'existence d'une pleurésie interlobaire et sur l'opportunité d'une intervention opératoire, les troubles fonctionnels commencent à s'amender. A ce moment, l'examen radioscopique montre l'image des deux poumons normalement claire du sommet à la base, mais l'image du cœur notablement agrandie dans tous les sens, comme globuleuse et presque immobile. A ces signes, on reconnaît une péricardite avec épanchement et, quelques jours plus tard, l'épanchement s'étant en partie résorbé, l'apparition des frottements caractéristiques vient mettre le diagnostic tout à fait hors de doute.

Ces deux exemples suffisent à montrer les services rendus par la radioscopie au diagnostic parfois si difficile des épanchements péricardiques. D'ailleurs, les rayons de Röntgen ne doivent jamais apporter qu'un appoint aux données fournies par tous les autres modes d'examen, et ils ne peuvent indiquer la nature séro-fibrineuse, hémorragique ou purulente du liquide épanché.

Symphyse péricardique. — La symphyse plus ou moins complète des deux feuillets du péricarde est une des lésions de l'appareil circulatoire dont le diagnostic présente le plus de difficulté et d'incertitude. L'examen radioscopique peut cependant, dans certains cas, aider à la reconnaître. Elle compte au nombre de ses meilleurs signes l'anormale fixité que présente à la percussion la zone de matité précordiale, quand le malade passe du décubitus latéral droit à la position horizontale et de cette dernière au décubitus latéral gauche. Il est donc vraisemblable que les rayons de Röntgen feront voir de même en pareil cas l'invariabilité de la situation de l'ombre cardiaque par rapport à la cage thoracique, dans les diverses attitudes que prendra successivement le malade. Cependant, je ne connais pas d'observation publiée où l'existence de ce signe radioscopique, prévu par la théorie, ait été signalé en réalité. En revanche, on a observé nettement, sur l'écran fluorescent, un autre signe de la symphyse du péricarde. A l'état normal, comme on l'a décrit précédemment, les deux bords gauche et droit de l'ombre cardiaque s'incurvent quelque peu vers la ligne médiane avant de rencontrer le contour de l'ombre du diaphragme, de telle sorte qu'ils limitent avec cette ombre deux très petits sinus qu'on peut appeler les sinus cardio-diaphragmatiques. Dans les grandes inspirations, ces deux sinus deviennent, à l'état normal, plus larges et plus profonds, comme si le cœur se séparait du diaphragme. C'est une apparence dont le professeur Bouchard a donné l'explication. Au contraire, s'il existe une symphyse du péricarde, les deux sinus disparaissent presque complètement, et le contour de l'ombre cardiaque, au voisinage de l'ombre diaphragmatique, conserve invariablement la même forme, à la fin de l'expiration et à la fin des plus profondes inspirations. En pareil cas, c'est surtout le bord droit de l'ombre cardiaque qui est remarquable par l'immuable fixité de son extrémité inférieure, insérée sur l'ombre diaphragmatique à angle presque droit. Mais en tenant compte des variations individuelles si nombreuses qu'on observe à l'état physiologique dans la forme et dans les mouvements de l'ombre cardiaque, il faut avouer que les signes radioscopiques de la symphyse du péricarde ne sont guère plus certains que les signes tirés des modes habituels d'examen physique et qu'ils acquièrent de la valeur surtout par leur association avec d'autres symptômes.

B. — Cœur

Pour l'exploration du cœur, les rayons de Röntgen ne sauraient entrer en balance avec l'auscultation. Cette dernière conserve le privilège de péné-

trer la structure interne du cœur et son fonctionnement intime, de renseigner sur l'état des orifices, le jeu des valvules et la contraction des fibres du myocarde. Mais les rayons de Röntgen l'emportent sur la percussion en tout ce qui regarde la configuration extérieure du cœur, sa situation, sa forme, ses dimensions, son volume et les modifications qu'y apporte à chaque instant le jeu des fonctions respiratoire et circulatoire. La percussion, entre des mains très exercées, est un merveilleux agent d'exploration, qui permet non seulement la recherche des hypertrophies totales, mais encore celle des hypertrophies partielles capables de produire des déformations limitées de la zone de matité cardiaque. Il faut reconnaître cependant que la percussion du cœur n'est pas possible dans l'aisselle ni en arrière, sauf dans certains cas pathologiques, à droite de la colonne vertébrale, au niveau des sixième, septième et huitième espaces intercostaux (Teissier, de Lyon) ; qu'en avant, appliquée à la recherche de l'oreillette droite, elle ne donne trop souvent que des renseignements vagues et incertains et que même pour l'étude des ventricules, l'interposition d'une lame suffisamment épaisse de tissu pulmonaire emphysémateux peut la rendre très difficile, sinon presque impossible. La conclusion, c'est que pour l'exploration physique du cœur, les rayons de Röntgen complètent souvent avec avantage la percussion en donnant au médecin, avec les corrections convenables, des signes plus évidents, plus certains et plus minutieusement précis.

Atrophies. — Aucun mode d'examen ne révèle mieux que l'examen radioscopique les atrophies, les arrêts ou les insuffisances de développement du cœur. C'est un spectacle surprenant, chez nombre d'anémiques, de débiles, de tuberculeux ou de candidats à la tuberculose, de voir combien sont restreintes les dimensions de l'ombre cardiaque, presque tout entière confondue avec l'ombre médiane de la colonne vertébrale et du sternum, qu'elle ne dépasse guère à gauche que par sa pointe.

Hypertrophies. — Grâce aux notions précises qu'on doit aux recherches radiographiques du professeur Lévy-Dorn sur les dimensions du cœur aux différents âges, grâce aux procédés de mensuration qui ont été exposés dans le chapitre de cet ouvrage consacré à l'exploration du thorax en général, aucun mode d'examen ne montre mieux non plus les divers degrés et les diverses formes d'hypertrophie cardiaque. Il fait reconnaître l'hypertrophie totale et les hypertrophies partielles du cœur dans les scléroses artérielles et rénales, dans les lésions endocarditiques des orifices et des valvules, dans les affections chroniques des voies respiratoires, en un mot, dans toutes les conditions pathogéniques qui modifient le volume du myocarde ; il aide particulièrement à découvrir l'hypertrophie de l'oreillette droite, moins accessible aux autres procédés d'exploration. C'est l'extension du contour gauche de l'ombre cardiaque, son allongement, son obliquité plus grande et l'éloignement de sa pointe vers la paroi axillaire qui montrent les hypertrophies ventriculaires, particulièrement celle du ventricule gauche. C'est la situation plus excentrique du contour droit de l'ombre cardiaque, l'étendue plus ou

moins grande dans laquelle on le voit, surtout à l'examen postérieur, déborder à droite l'ombre vertébrale au niveau des sixième, septième et huitième espaces intercostaux, qui indiquent l'hypertrophie de l'oreillette droite. L'examen radioscopique permet le diagnostic différentiel entre l'hypertrophie vraie et l'hypertrophie apparente que font soupçonner l'énergie de l'impulsion ressentie par le médecin au palper de la région précordiale et les phénomènes subjectifs éprouvés par le malade. C'est ainsi que les rayons de Röntgen ont contribué à ruiner l'opinion de Germain Sée sur l'hypertrophie dite *de croissance* et à montrer qu'il n'existe pas d'hypertrophie réelle et persistante qu'on puisse légitimement attribuer à la croissance même. Ils serviront sans doute à étudier avec plus de précision non seulement les hypertrophies pathologiques, mais les hypertrophies physiologiques du cœur, celle du travail musculaire et celle de la grossesse en particulier.

Dilatations. — C'est surtout l'étude des dilatations plus ou moins temporaires des diverses cavités cardiaques qui est appelée à bénéficier de la rapidité et de l'exactitude du nouveau mode d'examen. Pour en citer quelques exemples, déjà le docteur Schott de Nauheim a constaté sur l'écran fluorescent, chez les jeunes gens, la dilatation aigüe du cœur qui suit une course rapide et disparaît avec le repos. Le professeur Bouchard a observé de même la brusque et considérable ampliation du cœur qui se montre chez l'enfant atteint de coqueluche, au moment de l'inspiration particulièrement pénible qui suit la quinte. Enfin, le professeur Potain, en poursuivant ses recherches sur le rôle de la dilatation du cœur droit dans les accidents pulmonaires consécutifs aux troubles gastro-hépatiques, a vu, chez une jeune femme à vive impressionnabilité nerveuse, l'ingestion de quelques gouttes d'eau faire apparaître sur l'écran une image subitement agrandie du cœur droit. Chez les asystoliques, on peut mesurer les progrès de la dilatation cardiaque, étudier comment elle décroît sous l'influence du repos ou des divers toniques du cœur et constater nettement l'action thérapeutique de ces médicaments. C'est ainsi que dans la thèse inaugurale du docteur Santiard, *Étude de l'aire de projection du cœur sur la paroi thoracique par la radioscopie*, au milieu d'intéressantes figures montrant les divers aspects de l'ombre cardiaque dans l'épanchement péricardique, l'insuffisance aortique, le rétrécissement mitral pur, la néphrite interstitielle, etc., on en trouve qui reproduisent les images successives d'un cœur dilaté par asystolie, avant et après l'administration de la digitale.

Les rayons de Röntgen sont employés depuis peu de temps à l'étude des dilatations et des hypertrophies du cœur, mais on est en droit de prédire qu'ils ajouteront à nos connaissances sur cette partie si importante de la pathologie cardiaque, en même temps qu'ils serviront journellement, dans la pratique courante, au diagnostic de ces altérations. Il n'est pas jusqu'aux souffles anorganiques dont ils ne puissent aider à saisir *de visu* le mécanisme, comme l'a montré dans un de ses derniers travaux le professeur Potain en combinant l'examen radioscopique du cœur avec l'auscultation à l'aide d'un

stéthoscope flexible. Toujours ce maître a rencontré le maximum des souffles anorganiques au niveau du point du bord gauche de l'ombre cardiaque, où le mouvement de retrait correspondant à la systole ventriculaire était le plus marqué; jamais en l'absence de ce mouvement de retrait il n'a trouvé de souffle anorganique. Aussi s'est-il cru autorisé plus que jamais, après cette constatation, à affirmer que les souffles anorganiques sont des bruits cardio-pulmonaires liés à la brusque expansion du poumon, qu'entraînent dans leur retrait les ventricules en systole.

Les rayons de Röntgen peuvent même aider indirectement à la localisation de certains souffles organiques et contribuer ainsi au diagnostic différentiel des malformations congénitales du cœur, comme l'exemple suivant le montrera. MM. Duflocq et Jomier avaient présenté à la Société médicale des hôpitaux un jeune homme de dix-neuf ans, atteint de cyanose congénitale, chez qui un souffle systolique très rude et un frémissement cataire très intense étaient perçus dans le *troisième* espace intercostal gauche. En raison de cette localisation anormale, plusieurs des médecins présents, d'accord avec les présentateurs, crurent qu'il s'agissait d'un cas d'inocclusion du septum interventriculaire, d'un cas de *maladie de H. Roger*. Cependant les rayons de Röntgen démontrèrent que le souffle et le frémissement cataire, malgré leur siège insolite dans le troisième espace intercostal, avaient pour point de départ l'artère pulmonaire et témoignaient d'un rétrécissement congénital de ce vaisseau. Le malade fut radiographié assis, le sternum contre la plaque, le rayon normal traversant le troisième espace intercostal gauche, exactement au niveau d'un index de plomb, placé au siège du frémissement cataire. Dans ces conditions, l'ombre cardiaque se montra nettement séparée par un espace clair de l'ombre de l'index de plomb, située plus haut. Ce fut la preuve certaine que le foyer principal de frémissement cataire était *extra-cardiaque*, qu'il était situé *au-dessus* du cœur et ne provenait pas du septum interventriculaire, mais de l'artère pulmonaire. C'est dans le quatrième espace intercostal que la palpation faisait percevoir les battements du cœur, dits *de la pointe ;* l'examen radioscopique montra qu'en réalité la pointe du cœur atteignait le septième espace intercostal; d'ailleurs, l'ombre cardiaque débordait à droite l'ombre médiane dans une grande étendue et apparaissait couchée sur l'ombre diaphragmatique, dans une direction beaucoup plus transversale que d'habitude. Cet abaissement anormal du cœur hypertrophié tenait certainement pour une part à l'action de son poids sur le diaphragme, car dans le décubitus horizontal, le frémissement cataire, cessant d'avoir un siège insolite, devenait perceptible dans le deuxième espace intercostal. Les changements survenus dans la situation du cœur et dans la direction de son axe, surtout pendant la station debout, expliquaient suffisamment l'abaissement exceptionnel du point d'origine de l'artère pulmonaire. C'est ainsi que, dans un cas de malformation congénitale du cœur d'un diagnostic très difficile, on dut aux rayons de Röntgen la localisation exacte d'un souffle organique.

L'étude des ectopies cardiaques trouverait ici sa place s'il n'était préférable de les exposer un peu plus loin, au chapitre des déplacements du médiastin.

Orthodiagraphie du cœur. — Sous le nom *d'orthodiagraphie*, on entend la méthode qui sert à déterminer, au moyen des rayons de Röntgen, les dimensions exactes d'un objet ou d'un organe invisible, d'après l'ombre qu'il projette sur l'écran fluorescent. Cette méthode est particulièrement appliquée à la mensuration du cœur.

Dans le faisceau de rayons divergents émis par l'anticathode il en est un qui frappe l'écran perpendiculairement : c'est le rayon d'incidence normale, ou *rayon normal*. Il est facile, à l'aide de dispositifs divers, de connaître exactement le point de l'écran frappé par le rayon normal et d'obtenir, dans toutes les positions de l'ampoule, que ce point demeure constamment figuré sur l'écran. Rien n'est donc si facile que de promener successivement le rayon normal tout autour de l'organe dont on veut mesurer les dimensions, tangentiellement à sa surface. Tel est le principe de l'orthodiagraphie. Par exemple, pour mesurer le plus grand diamètre transverse de l'aire cardiaque chez un sujet qui fait face à l'écran, on déplace l'ampoule de telle sorte que le rayon normal devienne successivement tangent au bord droit et au bord gauche du cœur. On obtient ce résultat en amenant le point d'incidence normale, figuré sur l'écran par un index mobile avec l'ampoule, à se confondre tour à tour avec le bord droit et avec le bord gauche de l'ombre cardiaque. On note sur un calque appliqué contre l'écran les deux positions successives du point d'incidence normale, et leur écartement donne la longueur du diamètre cherché.

Pour obtenir ainsi, à l'aide du rayon normal, la mesure exacte des dimensions du cœur et la projection orthogonale de l'aire cardiaque sur la surface antérieure du thorax, divers instruments spéciaux peuvent être employés, parmi lesquels il convient de citer surtout *l'orthodiagraphe* du professeur Moritz, de Munich, et l'appareil de Guilleminot. Celui du professsseur Grunmach, de Berlin, mérite aussi d'être mentionné ; le docteur Destot, de Lyon, lui a tout récemment apporté d'heureuses modifications.

A l'aide de ces instruments, on mesure principalement les deux distances du bord droit et du bord gauche de l'ombre cardiaque à la ligne médiane. Leur somme donne la longueur du plus grand diamètre transverse dont le docteur Levy Dorn a étudié les rapports avec la hauteur de la taille chez les sujets sains. Il est bon d'y ajouter la mesure du plus grand diamètre longitudinal et celle de la surface totale de l'aire cardiaque exprimée en centimètres carrés.

Les récentes recherches du professeur Moritz, à l'aide de son orthodiagraphe, sur les dimensions du cœur à l'état physiologique, n'ont pas confirmé les résultats précédemment observés sans le secours de cet instrument. Elles ne lui ont permis de constater aucun changement appréciable sous l'influence des efforts, des boissons abondantes, des bains prolongés ou après l'usage de la digitale.

Voici, en résumé, le résultat des recherches encore plus récentes du professeur Bouchard : « Chez les individus normaux, la surface de projection orthogonale du cœur est indépendante du sexe ; elle s'accroît avec la taille, mais non proportionnellement. Elle dépend surtout du poids de l'albumine fixe des tissus ou, ce qui chez les sujets normalement conformés est sensiblement la même chose, du poids du corps. Mais ces conclusions ne sont vraies que pour les valeurs extrêmes et souffrent de nombreuses exceptions pour les valeurs rapprochées. Des sujets normaux de même taille, de même poids, peuvent présenter des surfaces cardiaques assez différentes ; ce fait n'est pas indifférent au point de vue des prédispositions morbides. »

« Il faut également tenir compte de la phase de croissance ; chez les enfants, le cœur est relativement beaucoup plus développé que chez les adultes. Cet organe semble avoir atteint son entier développement vers l'âge de vingt à vingt-deux ans, tandis que le reste de l'organisme continue de s'accroître jusqu'à trente ans.

« Chez les femmes enceintes, enfin, se manifeste une hypertrophie que l'on était en droit de suspecter, puisqu'en dehors de l'investigation clinique, jusqu'ici imparfaite, elle n'avait pu être étudiée qu'à l'autopsie ; c'est seulement, par suite, dans des cas pathologiques, qu'elle avait été constatée. »

L'orthodiagraphie a permis aussi au professeur Bouchard d'affirmer que, conformément à l'opinion souvent exprimée, mais non démontrée, la petitesse du cœur prédispose à la tuberculose.

C. — Vaisseaux de la base du cœur

L'image radioscopique du cœur ou plus exactement du sac péricardique comprend, à sa partie supérieure, sans délimitation nette, la portion initiale des gros vaisseaux, sur laquelle le péricarde se prolonge. Au contour de l'oreillette droite fait suite le bord droit de la veine cave supérieure ; le contour du ventricule gauche est continué par le bord gauche de l'artère pulmonaire et, comme on l'a vu précédemment au chapitre de l'examen du thorax normal, la pulsation rythmique perçue, à l'examen antérieur, dans le deuxième espace intercostal gauche, est la pulsation de l'artère pulmonaire, tandis que dans le premier espace intercostal du même côté le contour de l'ombre médiane appartient à l'aorte. Aucun des gros vaisseaux de la base du cœur n'est donc normalement inaccessible à l'examen radioscopique, et chacun d'eux peut révéler sur l'écran quelque état pathologique. C'est ainsi que la dilatation de la veine cave supérieure est reconnaissable à l'élargissement de l'ombre médiane dans le premier espace intercostal droit. Mais c'est principalement pour l'exploration de l'aorte que l'emploi des rayons de Röntgen est précieux. De tous les organes contenus dans le médiastin, l'aorte est certainement celui que le médecin a le plus d'intérêt à soumettre à l'examen radioscopique ; aussi est-il nécessaire de lui consacrer une étude spéciale.

Aorte. — A l'état normal, chez les sujets jeunes, l'aorte thoracique peut ne se révéler sur l'écran fluorescent ni dans l'examen antérieur, ni dans l'examen postérieur; l'ombre qu'elle projette est alors entièrement masquée par l'ombre médiane, c'est-à-dire qu'elle se confond complètement avec les ombres superposées de la colonne vertébrale et du sternum.

Plus souvent, surtout après l'achèvement de la croissance, l'ombre médiane, à la hauteur du premier espace intercostal gauche, correspond par son contour latéral en forme d'arc au bord gauche de la crosse de l'aorte, et les pulsations qu'elle présente à ce niveau reproduisent les pulsations aortiques. C'est une minime portion de l'aorte thoracique qui se révèle ainsi sur l'écran fluorescent, à l'examen antérieur ou postérieur; encore n'apparaît-elle pas chez tous les sujets. Il est nécessaire de compléter ces renseignements insuffisants par l'examen latéral gauche et surtout par l'examen oblique antérieur droit.

Dans une autre partie de ce traité, au chapitre de l'exploration du thorax en général, on a donné une longue et minutieuse description des diverses images radioscopiques de l'aorte que montrent ces différents modes d'examen ; il est donc inutile de la reproduire ici. Il suffira de rappeler qu'à l'examen latéral gauche apparaissent seulement les parties initiale et terminale de l'ombre portée par l'aorte thoracique sur l'écran fluorescent et qu'en revanche l'examen oblique antérieur droit constitue pour la crosse aortique, dans toute sa longueur, le mode d'exploration le plus favorable; en effet, il montre l'ombre cardiaque prolongée supérieurement par une sorte de bourgeonnement vertical, à sommet arrondi, animé de mouvements rythmiques d'expansion, qui correspond aux ombres superposées et confondues des deux portions ascendante et descendante de la crosse aortique.

En résumé, l'exploration de l'aorte thoracique à l'aide de l'écran fluorescent doit comprendre, pour être complète, quatre examens successifs dans des positions différentes du sujet : l'examen antérieur, l'examen postérieur, l'examen latéral gauche et surtout l'examen oblique antérieur droit, sans compter qu'il est très utile de faire tourner lentement le malade sur lui-même, de manière à passer graduellement, par exemple, de l'examen antérieur à l'examen oblique antérieur droit, ou vice versa, sans cesser d'observer sur l'écran toute la série des images de la crosse aortique. Pour être en droit d'affirmer que l'aorte a son calibre physiologique depuis le cœur jusqu'au diaphragme, il ne suffit pas de la découvrir à peine ou même de ne pas la découvrir à l'examen antérieur et postérieur, il faut encore, à l'examen latéral gauche, trouver aux deux espaces rétro-sternal et rétro-cardiaque leur clarté et leur étendue habituelles; il faut surtout, à l'examen oblique antérieur droit, reconnaître au prolongement aortique de l'ombre cardiaque sa forme et ses dimensions normales. D'ailleurs, cette constatation n'est possible que s'il n'existe aucune lésion des autres organes thoraciques, des poumons en particulier, capable de troubler l'image observée sur l'écran.

Au sujet de l'aorte thoracique, voici les principaux problèmes dont on peut demander la solution aux rayons de Röntgen : le vaisseau a-t-il ou non ses dimensions normales? est-il seulement allongé, 'dilaté, ou véritablement anévrismal ? Mais s'il est relativement aisé de constater les changements apportés par l'état pathologique aux ombres observées sur l'écran fluorescent, il est beaucoup plus difficile de leur donner leur signification véritable. Rien ne le démontre mieux que les diverses phases par lesquelles a passé la question du diagnostic radioscopique des anévrismes de l'aorte. Une modification dans le manuel opératoire de l'examen a suffi pour la faire entièrement changer de face, et dans son histoire on peut distinguer deux périodes très tranchées : l'une où l'exploration radioscopique de l'aorte se borne à l'examen antérieur et postérieur, l'autre où cette exploration est complétée par l'examen oblique.

Presque aussitôt après la découverte de Röntgen, et dès que cette découverte est appliquée à l'exploration du thorax, divers observateurs signalent la possibilité de reconnaître sur l'écran fluorescent l'existence des anévrismes de l'aorte, leur siège et leurs dimensions; il suffit de rappeler les observations publiées à la fin de l'année 1896 ou au commencement de l'année 1897 par Grunmach, Bouchard, Béclère, Oudin et Barthélemy, Schrötter et Wassermann, Aron, Thompson, Benedikt, Popper, etc. Dans ces observations, tantôt les rayons de Röntgen ne font que confirmer et compléter les données fournies par les méthodes usuelles d'examen clinique, tantôt ils dévoilent des anévrismes seulement soupçonnés d'après quelque trouble fonctionnel ou même tout à fait ignorés et entièrement inaccessibles aux autres modes d'exploration. L'existence de l'anévrisme est reconnue sur l'écran fluorescent à ce signe que l'ombre médiane est normalement débordée du côté gauche ou des deux côtés par une ombre arrondie qui présente des mouvements d'expansion et de retrait rythmés par les battements du cœur. A la fin de l'année 1897, Lévy Dorn fait de la question du diagnostic des anévrismes de l'aorte à l'aide des rayons de Röntgen l'objet d'un rapport au XV[e] Congrès médical de Berlin. Dans ce rapport maintes fois cité, il prédit justement que l'examen radioscopique de l'aorte est destiné à en devenir le procédé d'exploration par excellence. A bon droit, il signale, chez les malades soumis à l'examen radioscopique pour les affections les plus diverses et même chez les personnes considérées comme très bien portantes, la fréquence très grande d'une légère voussure de l'image aortique correspondant à la convexité de la crosse; mais tout en se gardant d'attacher un pronostic très défavorable à la constatation d'un phénomène si fréquent, il a trop de tendance à le considérer comme révélateur du premier stade d'un anévrisme typique, et ne distingue pas assez nettement dans les dimensions agrandies de l'image aortique la part qui revient au simple allongement du vaisseau. Cependant, la même année, cette distinction est au moins esquissée devant la Société médicale des hôpitaux de Paris, dans les diverses communications de Béclère, Oudin et Barthélemy.

A propos d'un cas d'anévrisme de la crosse aortique, où l'examen *post mortem* montre l'aorte notablement moins dilatée que ne le faisaient supposer les dimensions de l'image radiographique prise pendant la vie, ces observateurs invoquent, pour expliquer un tel défaut de concordance, l'allongement du vaisseau athéromateux, qui a perdu tout élasticité, son déplacement permanent à gauche de la colonne vertébrale et l'écart qu'y ajoute chaque contraction cardiaque; ils pensent qu'à l'intérieur du thorax, chez un sujet atteint d'athérome généralisé, il se passe en grand pour l'aorte, à l'union de la portion descendante avec la crosse, ce que montre manifestement l'artère humérale, à la face interne du bras à demi-fléchi sur l'avant bras : chaque pulsation artérielle s'accompagne d'une véritable locomotion du vaisseau qui déplace et accentue sa courbure. Dans une communication ultérieure, au sujet d'un autre malade, ils reviennent en ces termes sur l'allongement athéromateux et sur son diagnostic par l'examen radioscopique et l'auscultation : « L'examen radioscopique d'un assez grand nombre de personnes nous a montré que les sujets porteurs d'artères périphériques flexueuses ont presque tous une aorte visible sur l'écran fluorescent dans une plus ou moins grande étendue, à gauche de la colonne vertébrale, à l'endroit où la crosse change de direction et devient verticalement descendante. Notre malade avait des artères radiales dures et sinueuses, nous nous attendions donc à ce que son aorte, allongée comme les vaisseaux périphériques, débordât à gauche la colonne vertébrale, et l'événement est venu confirmer nos prévisions. Il est un autre signe que nous avons vu plusieurs fois coexister avec l'allongement et les flexuosités des artères périphériques et dont la constatation permet encore plus sûrement de prédire qu'on verra sur l'écran l'aorte déborder la colonne vertébrale. C'est l'existence entre le bord interne de l'omoplate gauche et l'épine dorsale d'une zone, plus ou moins étroite, où l'oreille appliquée contre le thorax entend les deux bruits du cœur, tandis que, tout autour de cette région limitée, elle ne les entend pas ou les perçoit beaucoup moins distinctement. Chez des malades présentant ce foyer dorsal d'auscultation des bruits du cœur, nous avons constaté qu'un objet métallique, tel qu'une petite pièce de monnaie appliquée sur la peau, précisément à l'endroit où le stéthoscope avait fait entendre ces bruits au maximum, apparaissait sur l'écran sous forme d'une tache très sombre occupant exactement le centre de l'ombre portée par la portion débordante de l'aorte. »

Au cours de cette première période, où l'exploration radioscopique de l'aorte se borne à l'examen antérieur et postérieur, les rayons de Röntgen servent à reconnaître sûrement les anévrismes de la crosse à deux étapes principales de leur évolution, soit lorsque leur existence se révèle par quelques-uns des signes habituels, tels que les pulsations anormales de la paroi thorocique par exemple, soit en l'absence d'autres signes, lorsque déjà leur volume est assez considérable pour produire sur l'écran, de part et d'autre de l'ombre médiane, une ombre arrondie dont les dimensions en

hauteur et en largeur sont trop grandes pour dépendre d'un simple allongement du vaisseau. En dehors de ces conditions, le diagnostic demeure incertain; tantôt on reconnaît des anévrismes à leur début parce que l'ombre aortique est confondue avec l'ombre médiane et que l'image radioscopique du thorax conserve son aspect normal ; tantôt, au contraire, en présence de saillies hémi-cerclées débordant d'un côté ou des deux côtés l'ombre médiane et animées de mouvements pulsatiles, on admet à tort l'existence d'anévrismes que plus tard on cherche en vain sur la table d'autopsie. Tandis qu'on ne tient pas assez compte des changements produits dans l'image radioscopique du thorax par le simple allongement de la crosse de l'aorte, en revanche on accorde beaucoup trop d'importance aux pulsations de l'ombre aortique, visibles sur l'écran, et on se trompe sur la valeur séméiologique de leur augmentation d'amplitude.

En réalité, les pulsations exagérées de l'ombre aortique n'impliquent nullement une dilatation anévrismale du vaisseau. Elles peuvent faire défaut ou être à peine visibles dans certains anévrismes même volumineux, à parois épaisses et tapissées de caillots fibrineux. En revanche, sans lésion aortique, elles augmentent d'amplitude dans toutes les circonstances si nombreuses où les battements des artères périphériques sont plus manifestes qu'à l'état normal, par exemple dans la chlorose, dans la maladie de Basedow, dans le saturnisme chronique, dans les hypertrophies ventriculaires qui accompagnent les scléroses rénales ou artérielles. Quand l'aorte s'allonge, elles sont plus apparentes et deviennent visibles dans une étendue d'autant plus grande qu'à un allongement plus prononcé de l'arc de la crosse se joint à chaque systole ventriculaire une impulsion plus énergique de l'ondée sanguine lancée dans l'aorte, et que la tension à l'intérieur du vaisseau est soumise alternativement pendant la contraction et le repos du cœur à des oscillations plus amples. Cette dernière condition est réalisée au plus haut degré dans l'insuffisance des valvules aortiques, aussi est-ce une lésion qui s'accompagne d'une remarquable exagération des pulsations visibles sur l'écran, comme l'a signalé le professeur Bouchard tout au début de l'emploi médical de la radioscopie, en accordant même à cette exagération la valeur d'un signe de présomption en faveur de la maladie de Corrigan. Tout en vérifiant la parfaite exactitude de sa description, j'ai eu l'occasion d'observer plusieurs cas de rétrécissement de l'orifice aortique chez de jeunes sujets dont le cœur hypertrophié battait avec une force insolite; les pulsations de l'ombre aortique n'étaient pas moins accentuées dans ces conditions que dans la maladie de Corrigan, il n'existait cependant aucun autre signe d'insuffisance valvulaire et, dans un cas, l'autopsie démontra que le rétrécissement de l'orifice de l'aorte était l'unique lésion.

Il ne suffit donc pas, pour porter le diagnostic d'anévrisme de l'aorte, de voir sur l'écran fluorescent le bord gauche de l'ombre médiane débordé, au niveau du second espace intercostal en avant, par une ombre pulsatile nettement hémicerclée. Sur une centaine de malades présentant un tel aspec de

l'ombre aortique, à l'examen radioscopique, le docteur Holzknecht, de Vienne, n'en trouva pas plus de six chez qui cet aspect correspondait à un anévrisme au début. Mais il est nécessaire de compléter l'examen antérieur et postérieur par l'examen latéral gauche et surtout par l'examen oblique antérieur droit, en passant graduellement de l'un à l'autre, comme l'a justement recommandé en diverses publications le docteur Holzknecht.

L'examen oblique antérieur droit, dont les résultats à l'état physiologique ont été longuement exposés dans un des chapitres précédents, est particulièrement indispensable à l'exploration de l'aorte soupçonnée d'anévrisme ; seul il permet de voir l'ombre rubanée qui surmonte et prolonge l'ombre cardiaque et qui représente sur l'écran la projection superposée des deux portions ascendante et descendante de la crosse aortique. Souvent on constate que cette ombre conserve sa forme, sa direction et ses dimensions normales, en dépit de l'aspect insolite observé à l'examen antérieur. Souvent aussi, sans aucun changement dans sa direction et tout en demeurant limitée par des bords parallèles elle apparaît uniformément élargie de la base au sommet. Fréquemment, dans ces conditions, elle est allongée en même temps qu'élargie, et son sommet arrondi s'élève jusqu'au niveau de l'extrémité sternale des clavicules.

Dans le premier cas, s'il n'existe pas de lésions pulmonaires ou pleurales capables de déplacer les organes du médiastin, on doit conclure à un simple allongement de l'arc aortique, dont le sommet se trouve par suite un peu plus éloigné de l'ombre médiane et devient visible à gauche de cette ombre.

Dans le second cas, on doit reconnaître qu'à l'allongement de l'arc aortique se joint une dilatation générale du vaisseau, sans anévrisme proprement dit. Enfin, il est permis seulement d'admettre l'existence d'un anévrisme commençant de la crosse aortique quand l'ombre normalement rubanée, au lieu d'être limitée par des bords parallèles plus ou moins distants, porte sur son trajet quelque renflement insolite. Le siège, la forme et les dimensions du renflement anormal varient d'un malade à l'autre. Il occupe, suivant les cas, le sommet, la base ou la partie moyenne de l'ombre aortique ; il déborde symétriquement de part et d'autre son axe vertical ou la déforme latéralement et s'incline, soit vers l'ombre du sternum, soit vers celle de la colonne vertébrale ; tantôt il fait suite sans intermédiaire ou presque indirectement à l'ombre du cœur, tantôt il est relié à celle-ci par une sorte de pédicule qui la fait paraître surmontée de l'image d'une massue ; ses dimensions sont plus ou moins étendues, sa forme plus ou moins régulière ; il est le plus souvent animé de pulsations facilement visibles. Quelques variétés qu'il présente, l'existence d'un renflement anormal de l'ombre aortique nettement constaté à l'examen oblique antérieur droit permet, même en l'absence de tout autre signe physique et de tout trouble fonctionnel, le diagnostic de l'anévrisme aortique à ses débuts. Les changements de position de l'ampoule et les variations imprimées à l'attitude du malade pendant

l'examen radioscopique, peuvent même parfois servir à déterminer le siège exact de la lésion sur l'une ou l'autre des deux portions ascendante et descendante du vaisseau.

L'examen latéral gauche, moins nécessaire que l'examen oblique antérieur droit, peut cependant aider aussi à la découverte des anévrismes aortiques à leur début. La persistance, sans changement de l'espace clair rétrosternal est en effet incompatible avec l'existence d'une dilatation anévrismale de l'aorte à son origine. De même, la persistance, sans changement, de l'espace clair rétro-cardiaque est incompatible avec l'existence d'une dilatation anévrismale de l'aorte thoracique à sa terminaison. Telle est, au point de vue du diagnostic des anévrismes, la particulière utilité de l'examen latéral gauche.

En résumé, la radioscopie constitue, pour l'exploration de l'aorte thoracique, et particulièrement pour l'exploration de la crosse, le procédé de choix, celui qui donne les renseignements les plus évidents, les plus précis, les plus complets. L'examen radioscopique permet de reconnaître à son début la maladie dont Laënnec proclamait, dans les termes suivants, le diagnostic si difficile : « Il est peu de maladies aussi insidieuses que l'anévrisme de l'aorte ; on ne le reconnaît que lorsqu'il se prononce à l'extérieur ; on peut à peine le soupçonner lorsqu'il comprime quelque organe essentiel et en gêne les fonctions d'une manière grave, et lorsqu'il ne produit ni l'un ni l'autre de ces effets. Souvent le premier indice de son existence est une mort aussi subite que celle qui est donnée par un coup de feu. » Aujourd'hui on peut dire que les rayons de Röntgen sont capables de déceler des anévrismes inaccessibles aux autres modes d'examen et que ne révèle encore aucun signe d'auscultation, de percussion ou de palpation, non plus qu'aucun trouble fonctionnel.

La radioscopie, si précieuse pour le diagnostic précoce des anévrismes tout à fait latents, n'est pas moins utile pour reconnaître sûrement l'existence de ceux que quelque trouble fonctionnel fait seulement soupçonner pour fixer leur siège, leurs dimensions et pour suivre leurs progrès, même à la période où le diagnostic, à l'aide des méthodes habituelles, ne fait plus aucun doute.

L'examen radioscopique fait voir combien, dans la symptomatologie des anévrismes, on a abusé des interprétations purement mécaniques en attribuant à la compression des organes voisins ce qui souvent est le résultat de l'irritation inflammatoire de ces organes. Il montre, en effet, chez certains malades, que les troubles fonctionnels très accentués, dépendant par exemple de l'irritation du nerf récurrent, coïncident avec une très légère ectasie de l'aorte, tandis qu'inversement, chez d'autres malades, une ectasie énorme ne s'accompagne pour ainsi dire d'aucun trouble fonctionnel. Il montre que l'atténuation ou la disparition des troubles fonctionnels est loin de toujours coïncider avec une diminution de volume de l'anévrisme.

C'est ainsi que l'examen radioscopique ne facilite pas seulement le dia-

gnostic précoce des anévrismes de l'aorte. Il aide au pronostic en mesurant leurs progrès et permet de mieux apprécier la valeur des moyens thérapeutiques dirigés contre cette redoutable affection.

Les gros troncs artériels qui naissent de la convexité de la crosse aortique ne sont pas, à l'état normal, accessibles aux rayons de Röntgen, mais ils peuvent exceptionnellement, quand ils sont le siège d'anévrismes, projeter sur l'écran ou sur les plaques sensibles une ombre dont la forme et la direction révèlent leur état pathologique. C'est ainsi que j'ai eu occasion d'observer un malade atteint de paralysie récurrentielle de la corde vocale gauche, chez qui l'exploration radioscopique et radiographique a décelé une dilatation anévrismale de la crosse de l'aorte se continuant avec une dilatation de même nature du tronc brachio-céphalique et de l'artère sous-clavière droite.

La portion descendante de l'aorte thoracique qui fait suite à la crosse est beaucoup plus difficilement accessible que cette dernière aux rayons de Röntgen. Elle est, à l'examen antérieur et postérieur, complètement confondue dans l'ombre médiane, et c'est à peine si elle apparaît partiellement à l'examen latéral gauche, pour constituer la limite postérieure de l'espace clair rétro-cardiaque. On comprend qu'un anévrisme commençant de l'aorte thoracique à son extrémité inférieure puisse se révéler par une ombre anormale dont la saillie dans l'espace clair rétro-cardiaque en amène l'effacement plus ou moins complet. Je n'ai pas encore rencontré de cas de ce genre, mais il m'a été donné de voir sur la table d'autopsie un anévrisme de la dernière portion de l'aorte thoracique assez volumineux pour simuler, pendant la vie du malade, même à l'exploration radioscopique et radiographique, un abondant épanchement de la plèvre gauche.

A l'inverse de l'aorte, et sauf exceptions très rares, la veine cave supérieure se dérobe aux rayons de Röntgen, même à l'état pathologique, quand elle est anormalement distendue. La résistance très inégale offerte par les deux vaisseaux au passage des rayons explorateurs s'explique par la très grande différence que présentent leurs parois, au point de vue de l'épaisseur et de la composition chimique, surtout à l'état pathologique, quand le système artériel est athéromateux et calcifié.

§ 2. — **Trachée, grosses bronches et ganglions lymphatiques.**

A. — Trachée et grosses bronches.

La trachée béante et remplie d'air, par conséquent très perméable aux rayons de Röntgen, se révèle sur l'écran à l'examen antérieur, surtout avec l'aide d'un diaphragme de plomb, par une étroite bande claire, verticalement placée au milieu de l'ombre médiane du thorax. Cette étroite bande paraît claire seulement par contraste avec les parties latérales plus sombres qui la

limitent et contribuent avec elle à former l'image du sternum. Elle s'étend en hauteur depuis l'espace clair qui correspond au pharynx jusqu'à la quatrième vertèbre dorsale. On conçoit qu'un rétrécissement ou un néoplasme trachéal puisse se révéler sur l'écran par une modification de cette bande claire, mais je ne connais pas d'exemple d'un tel diagnostic.

Les corps étrangers métalliques, involontairement introduits dans le conduit trachéal, instruments destinés au tubage de la glotte, pièces de monnaie, etc., peuvent être facilement décelés par l'examen radioscopique ou la radiographie.

Les grosses bronches échappent à peu près complètement aux rayons de Röntgen. Tout au plus, chez certains sujets amaigris, un rétrécissement de l'ombre médiane qui prend la forme d'un sablier, correspond-il, dans le voisinage de la cinquième vertèbre dorsale, au bord inférieur des gros canaux bronchiques. J'ai vu tout récemment un jeune garçon de dix ans qui, tenant en sa bouche un caillou de la grandeur d'une pièce de cinquante centimes, l'avait involontairement fait disparaître dans une brusque inspiration et présentait depuis ce moment des quintes de toux striduleuse. L'examen radioscopique, pratiqué trois mois après l'accident, me fit voir l'ombre du caillou en un point qui correspondait au siège de la bronche droite et me permit de constater l'ascension brusque de cette ombre à chaque effort de toux et son retour rapide au point de départ ; j'eus ainsi la preuve que le caillou était libre dans les voies respiratoires, et ce fut un renseignement très précieux pour le choix de l'intervention opératoire.

B. — Ganglions lymphatiques.

Les ganglions lymphatiques si nombreux, qui remplissent le médiastin, ne sont pas normalement accessibles à l'examen radioscopique en raison de leurs petites dimensions et de leur faible densité. Pour qu'ils forment sur l'écran une ombre appréciable à l'examen antérieur ou postérieur, il ne suffit pas qu'ils soient notablement hypertrophiés, il faut encore qu'ils débordent l'espace circonscrit entre deux plans étendus du bord du sternum à ceux de la colonne vertébrale, sans quoi leur ombre se confond avec l'ombre médiane du thorax.

La constatation sur l'écran fluorescent d'une image thoracique normale ne donne donc pas le droit d'écarter le diagnostic d'adénopathie médiastine, quand les autres procédés d'examen physique et la présence des troubles fonctionnels caractéristiques autorisent à admettre ou à soupçonner ce diagnostic.

En revanche, l'examen radioscopique fait reconnaître et aide à délimiter exactement des adénopathies auxquelles leur volume et leur situation, hors de l'espace indiqué plus haut, permettent de se révéler sur l'écran, tandis

que leur siège profond, sous une grande épaisseur de tissu pulmonaire sain, les rend à peu près inaccessibles à la percussion.

Quand l'ombre des ganglions hypertrophiés déborde, d'un côté ou des deux côtés, l'ombre médiane au-dessus du cœur, il est parfois très difficile de ne pas la confondre sur les clichés et les épreuves radiographiques avec l'ombre anormale qui témoigne de l'allongement ou de la dilatation de l'aorte. On distingue l'image radiographique des ganglions, principalement à la forme irrégulière, festonnée, polycyclique de son contour. Sur l'écran fluorescent, ces caractères servent aussi au diagnostic différentiel ; de plus, l'ombre ganglionnaire est remarquable par sa fixité, tandis que l'ombre aortique est reconnaissable surtout à ses mouvements rythmiques d'expansion. La teinte de l'ombre des ganglions varie avec leur volume, leur structure et leur composition chimique. Aussi les adénopathies chroniques qui, le plus souvent, s'accompagnent d'un certain degré de sclérose et parfois sont infiltrées de sels calcaires, présentent-elles d'ordinaire une teinte plus sombre que les néoplasmes à marche rapide, formés d'un tissu peu consistant.

Toutes les adénopathies du médiastin, depuis les hypertrophies les plus simples et les plus bénignes, jusqu'aux néoplasmes les plus rapidement envahissants et les plus dangereux, en passant par les formes si diverses de la tuberculose ganglionnaire, sont au nombre des lésions profondément cachées dont les rayons de Röntgen sont capables de faciliter et de perfectionner le plus l'étude clinique. Je cite seulement parmi les plus fréquentes, parmi celles qui souvent sont l'occasion d'erreurs de diagnostic et de pronostic que l'examen radioscopique peut aider à éviter, les adénopathies du décours de la rougeole et de la coqueluche, surtout chez les enfants, et, à tous les âges, celles que la grippe laisse trop souvent à sa suite ; on ne peut ici entrer dans l'étude détaillée de chacune d'elles.

C. — Thymus, kystes, abcès.

Le médiastin peut contenir d'autres tumeurs que les tumeurs bénignes ou malignes développées aux dépens des ganglions lymphatiques. Je ne fais que mentionner l'hypertrophie du thymus, les goitres plongeants, certains kystes congénitaux et les abcès par congestion qui proviennent des lésions tuberculeuses de la colonne dorsale. Ce sont toutes lésions dont l'examen radioscopique, joint à la connaissance des symptômes concomitants et de l'évolution de la maladie, peut aider à reconnaître l'existence, à fixer le siège et l'étendue.

§ 3. — Œsophage.

L'œsophage, en raison de sa structure musculo-membraneuse et de la faible épaisseur de ses parois, échappe complètement à l'examen radiosco-

pique direct, mais peut être indirectement exploré par l'intermédiaire de substances opaques introduites dans son canal, mercure, plomb ou bismuth.

Le cathétérisme de l'œsophage normal à l'aide d'une sonde de caoutchouc souple, emplie de mercure ou de grenaille de plomb, permet d'étudier son trajet dans toutes les directions des rayons au travers du thorax, particulièrement dans l'examen oblique antérieur droit et dans l'examen oblique antérieur gauche, où l'ombre de la sonde se détache très nettement sur l'espace clair moyen entre l'ombre vertébrale et l'ombre cardio-aortique. C'est dans ces deux directions d'examen qu'il convient de rechercher les *corps étrangers* de l'œsophage, capables, d'après leur nature, de donner sur l'écran une ombre appréciable. L'emploi du cathéter opaque permet aussi, à l'état pathologique, de reconnaître la déviation et l'allongement du canal œsophagien, de constater l'existence des rétrécissements de son calibre, d'en fixer le siège et d'en déterminer les rapports avec les organes voisins, sains ou altérés. Mais, dans ces conditions, le cathétérisme est pour le patient une opération toujours pénible, dangereuse même, si l'on soupçonne un anévrisme de l'aorte, et on n'y a recours que par exception.

Observer sur l'écran, suivant les préceptes du docteur Holzknecht, comment est déglutie une pincée de bismuth, constitue une méthode d'exploration plus simple, plus douce et tout à fait inoffensive, qui renseigne mieux sur le trajet du canal œsophagien, ses rapports, son calibre et sa contractilité. A l'état normal, l'ombre d'un cachet de bismuth dégluti se détache, dans l'examen oblique antérieur droit ou postérieur gauche, sur l'espace clair moyen, comme une tache ovalaire très sombre qu'on voit cheminer en quelques secondes du champ clair pharyngé à l'ombre diaphragmatique.

La recherche d'un *rétrécissement de l'œsophage* comporte trois épreuves appropriées aux divers degrés de sténose : 1° l'épreuve du bismuth en suspension dans l'eau (1 à 2 grammes pour 100 grammes d'eau) ; 2° celle du bismuth enveloppé de pain azyme (1 gramme environ) ; 3° celle de la bouchée de pain et du bismuth.

L'épreuve du lait de bismuth convient seulement aux rétrécissements serrés. Tandis que l'eau déglutie passe lentement, la poudre de bismuth se dépose et tapisse les parois de l'œsophage dans toute l'étendue du défilé ou seulement au-dessus ; l'ombre correspondante montre ainsi le siège, le degré et la longueur du rétrécissement.

L'épreuve du cachet de bismuth, plus fréquemment employée, convient toutes les fois que le rétrécissement n'est pas trop faible. En ce cas, on voit l'ombre du cachet de bismuth ralentir son mouvement et s'arrêter à une hauteur variable, puis elle demeure immobile ou présente, sous l'influence des contractions antipéristaltiques de l'œsophage, des mouvements rythmiques d'ascension rétrograde, suivis d'une nouvelle descente ; enfin, le plus souvent elle s'effile, se fragmente et franchit lentement le passage rétréci pour disparaître ensuite brusquement.

Si cette épreuve ne confirme pas le diagnostic supposé, on la complète

en faisant avaler au malade d'abord une bouchée de pain bien mastiquée, puis, quand il éprouve la sensation de l'arrêt du bol alimentaire, un cachet de bismuth qui indique le siège de la bouchée invisible. De la même manière l'épreuve du cachet de bismuth peut révéler le siège d'un corps étranger de l'œsophage, inaccessible à l'examen radioscopique direct.

Dans l'une ou l'autre des deux épreuves précédentes, si le rétrécissement siège au-dessous du diaphragme, l'ombre du cachet de bismuth invisible ne se détache plus sur l'espace clair moyen et demeure cachée ; on révèle indirectement sa présence en faisant boire au malade un lait de bismuth qui projette au-dessus de l'ombre invisible une ombre apparente.

C'est à l'aide du même procédé, la déglutition successive d'un cachet ou d'une bouchée, puis d'un lait de bismuth, qu'on voit, d'après la forme et les dimensions variables de la colonne d'ombre au-dessus de l'obstacle, si le rétrécissement est surmonté d'une *dilatation de l'œsophage.*

D'une manière générale, l'emploi du cachet de bismuth ne sert pas seulement à mesurer le calibre de l'œsophage, il permet d'étudier au mieux le fonctionnement de sa musculature. Le mode de cheminement du bismuth dégluti montre si l'énergie des contractions œsophagiennes est augmentée ou diminuée, s'il existe des phénomènes de *spasme* ou de *parésie.*

Enfin, l'emploi combiné du bismuth et du cathéter opaque aide au diagnostic si difficile du *diverticule de l'œsophage.*

CHAPITRE III

DÉPLACEMENTS DU MÉDIASTIN

C'est un fait depuis longtemps connu que les organes du médiastin peuvent, dans certaines conditions pathologiques, se déplacer, puis reprendre, après un temps plus ou moins long, leur situation primitive. Les méthodes visuelles d'exploration permettent de constater ces changements de position et de percevoir, par exemple, à droite du sternum, les battements et les bruits du cœur, quand cet organe est repoussé par un abondant épanchement liquide de la plèvre gauche ou attiré par la rétraction du poumon droit sclérosé. Dans le premier cas, il n'est pas rare d'assister au retour du cœur à sa place normale, après la disparition spontanée ou provoquée du liquide pleural. Ainsi, depuis longtemps, la main et l'oreille nous révèlent les déplacements pathologiques des organes invisibles cachés dans le médiastin. Aujourd'hui, la découverte de Röntgen nous permet de poursuivre, dans de meilleures conditions, l'étude de ces déplacements, qu'elle met, pour ainsi dire, sous nos yeux.

L'ensemble des organes contenus dans le médiastin constitue une pyramide quadrangulaire étendue, verticalement, de la fourchette sternale au diaphragme, limitée en avant par le sternum, en arrière par la colonne vertébrale et de chaque côté par la face interne du poumon correspondant. Cette pyramide est, sur ses deux faces latérales, le siège de pressions et de tractions dont l'énergie varie d'un moment à l'autre, sous l'influence des mouvements respiratoires. D'une part, les deux côtés du médiastin sont soumis, par l'intermédiaire des voies respiratoires, à la pression atmosphérique. La pression diminue, on le sait, quelque peu à l'intérieur des bronches, pendant l'inspiration ; elle augmente, au contraire, pendant l'expiration, surtout pendant l'effort ; mais, à l'état normal, quand les deux grandes divisions de l'arbre bronchique sont également perméables à l'air, elle s'exerce également sur les deux faces latérales de la pyramide médiastinale. D'autre part, les deux côtés du médiastin, reliés par l'intermédiaire du tissu élastique des poumons, comme par un ressort toujours tendu, aux parois latérales du thorax. sont ainsi soumis à des tractions permanentes. Ces tractions sont

plus fortes pendant l'inspiration, où le thorax se dilate, que pendant l'expiration, où les parois thoraciques se rapprochent, mais normalement, quand les deux poumons ont la même élasticité, elles demeurent toujours égales à gauche et à droite. Ainsi le médiastin, à l'état physiologique, est soumis sur ses deux faces latérales à des pressions et à des tractions d'intensité variable, mais qui sont simultanément égales de part et d'autre ; il ne présente donc aucune tendance au déplacement latéral, ni dans un sens ni dans l'autre.

Les déplacements pathologiques du médiastin résultent toujours d'une différence d'énergie entre les pressions ou entre les tractions simultanément exercées sur ses deux faces latérales. Ils sont permanents ou momentanés suivant que la cause de cette différence d'énergie est elle-même permanente ou qu'elle existe seulement à l'occasion des mouvements respiratoires.

§ I. — **Déplacements permanents.**

Les déplacements permanents du médiastin ont été les premiers observés à l'examen radioscopique. Tantôt ils proviennent d'une augmentation de pression sur l'une de ses deux faces latérales. En ce cas, ils accompagnent soit les épanchements liquides de la grande cavité pleurale, soit les épanchements gazeux avec hypertension, dans le pneumothorax dit à soupape, soit, plus rarement, les pleurésies interlobaires ou médiastines, soit enfin le développement, dans le parenchyme pulmonaire, de kystes hydatiques ou de néoplasmes volumineux. Tantôt ils proviennent d'une traction plus forte exercée sur l'une de ses faces latérales par un poumon sclérosé, rétracté, recouvert de feuillets pleuraux épaissis et le plus souvent adhérents ; tout se passe comme si le médiastin était directement relié à la paroi thoracique par un tissu de cicatrice. La cause la plus fréquente de ces rétractions est la tuberculose pulmonaire, mais des broncho-pneumonies non tuberculeuses peuvent aboutir au même résultat.

Le professeur Bouchard a décrit le premier l'image radioscopique du médiastin refoulé ou rétracté. A l'examen antérieur ou postérieur, quand la colonne vertébrale et le sternum du sujet examiné sont bien sur le trajet du rayon normal à l'écran l'ombre médiane du thorax, au-dessus du cœur, au lieu d'être limitée par des bords verticaux et parallèles, est débordée d'un côté par une ombre triangulaire à sommet supérieur. La base de cette ombre triangulaire se confond inférieurement avec l'ombre du cœur, avec l'ombre des ventricules quand elle est à gauche, avec celle des oreillettes quand elle siège à droite. L'ombre anormale est observée du côté sain du thorax si le médiastin est refoulé par un épanchement ou un néoplasme, du côté malade s'il est au contraire rétracté. La largeur de l'ombre anormale permet de mesurer le déplacement du médiastin.

Ce n'est pas seulement la partie supérieure du médiastin qui est ainsi refoulée du côté sain ou rétractée du côté malade, c'est également la partie

inférieure, le sac péricardique et son contenu. Ces déplacements pathologiques du cœur méritent de retenir particulièrement l'attention ; leur étude à l'aide des rayons de Röntgen a permis de rectifier certaines notions généralement admises.

MM. Bergonié et Carrière ont bien étudié le déplacement du cœur à gauche consécutif aux épanchements liquides de la plèvre droite. Au cours des épanchements peu abondants, dans le décubitus dorsal, la pointe du cœur n'est pas déplacée. Mais vient-on à faire asseoir le malade et surtout à le faire coucher sur le côté gauche, aussitôt on constate, sous l'influence du poids de l'épanchement, un déplacement de la pointe vers la gauche de 3 à 5 centimètres, c'est-à-dire beaucoup plus étendu que le déplacement produit à l'état normal par les changements d'attitude. Avec des épanchements abondants, on note un déplacement de la pointe plus étendu, mais permanent, que modifient à peine les changements de position du malade.

C'est le déplacement du cœur à droite dont l'étude a surtout été renouvelée, en partie, grâce à l'examen radioscopique.

Dans certaines conditions pathologiques on sent les battements du cœur à droite du sternum. Le fait est depuis longtemps connu, il est incontestable, mais comporte diverses interprétations. En notre pays les auteurs classiques admettaient tous que les déplacements du cœur par les épanchements pleuraux gauches ou par les rétractions droites, agissent sur la pointe plus que sur la base, redressent son axe, le rendent d'abord vertical, puis, dans les cas extrêmes, oblique en sens inverse, de telle sorte que la pointe bat à droite, l'axe du cœur étant renversé comme dans les faits de dextrocardie congénitale. Cependant, M. le professeur Bard, de Lyon, faisait remarquer, depuis plusieurs années déjà, que cette description classique reposait uniquement sur des interprétations cliniques et qu'il n'existait pas un seul cas de déplacement acquis du cœur où l'autopsie eût fait réellement constater le renversement de l'axe cardiaque. M. Bard eut le mérite de montrer d'abord, à l'aide de l'examen clinique seul, puis avec le témoignage irrécusable de plusieurs autopsies, que les épanchements pleuraux gauches ou les rétractions droites qui entraînent une déviation du cœur à droite, déplacent cet organe en masse, sans que la direction générale de son axe soit modifiée. Dans ces cas, c'est la base du cœur qui s'avance le plus loin à droite, elle peut atteindre et même dépasser la ligne mamelonnaire ; quant à la pointe, déplacée dans le même sens, elle ne dépasse pas la ligne médiane. Les recherches expérimentales de M. le professeur Pitres, de Bordeaux, confirmèrent la thèse soutenue par M. Bard.

Enfin, les rayons de Röntgen mirent cette thèse tout à fait hors de doute en permettant, par une véritable biopsie, de voir nettement, pendant la vie des malades, la forme et la situation du cœur déplacé. C'est ainsi que chez un homme porteur d'un grand épanchement de la plèvre gauche, dont le thorax était soulevé par les battements cardiaques, *dans le sixième espace intercostal droit*, à 15 centimètres de la ligne médiane, je vis à l'examen

radioscopique le cœur déplacé en masse, sans renversement de son axe : « Examiné par devant ou par derrière, le côté gauche du thorax du malade apparaît entièrement obscur. Sur la clarté brillante du côté droit se détache l'ombre de la portion du cœur déplacé qui déborde le sternum. On constate d'abord que le cœur est en réalité beaucoup plus déplacé à droite que ne l'indique la percussion. Puis deux signes témoignent que cette ombre appartient à la base du cœur, mais ne correspond pas à la pointe. D'une part, elle est limitée par un contour à peu près demi-circulaire qui devient manifeste surtout à la fin des inspirations volontairement profondes : on voit à ce moment la clarté pulmonaire s'insinuer comme un coin effilé entre l'ombre cardiaque arrondie et l'ombre du dôme hépatique. D'autre part, elle ne présente pas les mouvements brusques, les changements de forme soudains qui, normalement, traduisent aux yeux la systole ventriculaire au voisinage de la pointe. » (*Société médicale des hôpitaux*, 15 juillet 1898.) Peu de temps avant, le docteur Carrière avait eu occasion de publier une observation analogue. Le docteur Signeux a, sur mon conseil, consacré à cette question sa thèse inaugurale. Depuis la publication de cette thèse, j'ai pu observer plusieurs autres faits du même genre.

En résumé, dans les épanchements pleurétiques gauches, si le déplacement du cœur est pour ainsi dire de règle, le cœur est toujours refoulé en masse, jamais il n'est renversé sur son axe, jamais sa pointe ne bat à droite, jamais elle ne dépasse la ligne médiane. Tout au plus existe-t-il un relèvement de l'axe du cœur, qui tend à devenir vertical. Ce qui bat à droite du sternum est parfois l'aorte, plus souvent l'oreillette droite ou la base du ventricule droit.

Le déplacement du cœur, dans les épanchements de la plèvre gauche, n'a pas seulement un intérêt de curiosité. C'est parfois un problème difficile, quand le côté gauche du thorax est à la fois mat à la percussion, silencieux à l'auscultation et sombre à l'examen radioscopique, de savoir s'il existe un épanchement pleural ou si tous ces signes ne sont pas les reliquats d'une pleurésie dont l'épanchement est résorbé. Dans ces conditions, si le cœur ne déborde pas le bord droit de l'ombre médiane, il est tout à fait invraisemblable qu'il existe un épanchement capable de rendre obscur tout un côté du thorax, du sommet à la base. Si, au contraire, l'ombre du cœur dépasse notablement l'ombre du bord droit du sternum, c'est une très forte présomption en faveur d'un épanchement pleural. Quand le diagnostic d'épanchement pleural gauche est hors de doute, l'examen de l'ombre du cœur et la mesure de son déplacement vers la droite constituent un des meilleurs moyens d'apprécier la marche de l'épanchement, de juger s'il augmente ou s'il se résorbe.

Les rayons de Röntgen ont confirmé l'opinion défendue par le professeur Bard, non seulement dans la dextrocardie par épanchement pleural gauche, mais aussi dans la dextrocardie par sclérose pulmonaire droite. Dans cette dernière affection, les battements du cœur sont souvent perçus

à droite dans un point symétrique à celui du choc normal de la pointe à gauche. Or, dans toutes les autopsies qui ont été faites, dans tous les cas où a été pratiqué l'examen radioscopique ou radiographique (cas de MM. Fernet, Moutard-Martin, Capitan, Barbier), on a pu constater de la façon la plus nette qu'il n'y avait pas inversion du cœur, mais seulement translation du cœur vers la droite, le grand axe de l'organe restant toujours dirigé de haut en bas et de droite à gauche. Dans une observation du docteur Barbier où les battements du cœur apparaissaient à la vue et au palper, à un travers de doigt en dehors du mamelon droit, l'examen radioscopique montra que la pointe du cœur déplacée demeurait encore de 1 à 2 centimètres en deçà du bord gauche du sternum. Sur cette question des battements du cœur à droite, en particulier dans la sclérose pulmonaire droite, le docteur Remoussenard, un de mes anciens élèves, a écrit une excellente thèse inaugurale.

L'examen radioscopique montre aussi qu'il n'existe pas de déplacement du médiastin dans certains cas où les battements du cœur, perçus à droite du sternum, tendent à faire admettre une ectopie pathologique de cet organe. C'est ainsi que chez un malade observé avec moi par les docteurs Galliard et Oudin, nous avons pu constater la transmission des battements du cœur à la paroi thoracique droite par l'intermédiaire d'un poumon sclérosé et induré sans que le cœur eût quitté sa place. On voit que dans l'état pathologiqne, mieux encore qu'à l'état normal, l'examen radioscopique fait ressortir la vérité de l'adage clinique : « Tout ce qui bat n'est pas la pointe. »

§ 2. — **Déplacements momentanés.**

Les déplacements momentanés du médiastin sont intimement liés aux mouvements respiratoires. Ils constituent un chapitre relativement neuf de la radioscopie médicale, intéressant à la fois au point de vue de la théorie et de la pratique. On les observe dans des conditions très différentes.

Tantôt ces déplacements momentanés se superposent pour ainsi dire à un déplacement permanent du médiastin tel qu'il vient d'être étudié. Ils représentent les oscillations plus ou moins amples, alternativement apportées dans un sens et dans l'autre, par les mouvements respiratoires à un médiastin manifestement déplacé. Tantôt ils apparaissent seulement à la fin des inspirations volontairement profondes, alors qu'une respiration tranquille ne montre rien d'anormal dans l'image radioscopique du médiastin. D'où la règle pratique de rechercher l'existence de ces déplacements en invitant les malades placés devant l'écran à faire quelques inspirations aussi profondes que possible.

Quand un épanchement liquide ou hydro-aérique de la plèvre déplace le médiastin en le refoulant du côté sain, il n'est pas très rare qu'à chaque inspiration le médiastin déplacé se rapproche de la ligne médiane, comme s'il tendait à reprendre sa position normale, puis revienne, pendant l'expiration suivante, à son point de départ. Le fait a été signalé par MM. Bergonié et Carrière, qui, dans les épanchements liquides de la plèvre gauche, ont vu la zone triangulaire opaque située à droite du rachis se rétrécir pendant l'inspiration et augmenter de largeur pendant l'expiration. J'ai observé le même phénomène chez un tuberculeux atteint de pneumothorax par perforation pulmonaire et porteur d'un épanchement hydro-aérique de la plèvre gauche qui refoulait le cœur à droite. Sur l'image radioscopique, le contour arrondi de la base du cœur dépassait notablement le bord droit du sternum ; à chaque inspiration, on voyait la base du cœur se porter à gauche et disparaître presque complètement en se confondant avec l'ombre médiane; à chaque expiration, on la voyait revenir à droite et dépasser le bord droit du sternum. Ces déplacements latéraux se montraient d'autant plus accentués que l'amplitude des mouvements respiratoires était plus grande. Dans tous ces cas, on peut admettre que la dilatation du thorax pendant l'inspiration aboutit à une diminution momentanée de la pression exercée par l'épanchement liquide sur le médiastin ; on peut admettre aussi que la paroi thoracique du côté malade entraîne avec elle, pendant l'expiration, le médiastin auquel elle n'est plus reliée, comme la paroi du côté sain, par le tissu élastique d'un poumon normal, mais par une masse inextensible. Dans le cas particulier d'un épanchement hydro-aérique, il est très vraisemblable que le déplacement du médiastin vers le côté malade, pendant l'expiration, implique pour les gaz épanchés dans la cavité pleurale l'impossibilité d'en sortir par suite soit de la fermeture de la perforation pulmonaire, soit de la disposition dite en soupape de cette perforation. En effet, chez un autre tuberculeux atteint de pleurésie purulente, j'ai vu, à la suite de l'opération de l'empyème, alors que la cavité pleurale gauche était en large communication avec l'atmosphère, le médiastin se déplacer pendant l'inspiration vers le côté droit, c'est-à-dire vers la seule paroi du thorax à laquelle il continuait à être relié, par l'intermédiaire du poumon sain.

Le docteur Holzknecht, de Vienne, a appelé l'attention sur une autre catégorie de faits où le déplacement inspiratoire du médiastin apparaît en l'absence de tout épanchement pleural, liquide ou gazeux, chez des malades dont les deux poumons paraissent, dans toute leur étendue, perméables à l'air. J'ai observé des faits analogues dans des conditions étiologiques diverses tantôt chez des tuberculeux dont les lésions étaient limitées à un seul poumon, ou tout au moins étaient notablement prédominantes d'un côté, tantôt chez des sujets non tuberculeux qui, plusieurs années auparavant, avaient été atteints d'une broncho-pneumonie. Dans tous ces cas on voit, à l'examen radioscopique, l'ombre médiane du thorax, qui tranche sur l'image plus ou

moins claire des deux poumons, demeurer immobile, comme à l'état normal, tant que la respiration reste calme et superficielle. Mais si les inspirations deviennent profondes, on s'aperçoit que l'ombre médiane est débordée d'un côté par une ombre triangulaire à sommet supérieur qui s'éloigne d'elle pour s'en rapprocher à l'expiration suivante.

Tel est le phénomène principal qui attire l'attention de l'observateur. Celui-ci voit en outre que du côté où le médiastin se déplace pendant l'inspiration, l'image pulmonaire est moins étendue que de l'autre côté, à la fois en hauteur et en largeur, que les ombres costales paraissent plus obliquement insérées sur l'ombre vertébrale, plus rapprochées les unes des autres et moins mobiles ou même tout à fait immobiles pendant les mouvements respiratoires, enfin que l'ombre de la moitié correspondante du diaphragme est plus élevée et présente de moindres excursions que celle de l'autre côté.

Comment interpréter ces phénomènes et quelle valeur diagnostique doit-on leur donner ? Le docteur Holzknecht regarde le déplacement inspiratoire du médiastin qu'il a eu le mérite de signaler le premier comme le signe du rétrécissement de l'une des bronches, de la bronche droite par exemple, si le médiastin se déplace vers la droite. Il suppose que l'air inspiré ne pouvant pénétrer, par le canal d'une bronche rétrécie, aussi rapidement dans le poumon droit que dans le poumon gauche, exerce sur le médiastin une pression moindre à droite qu'à gauche et que le médiastin, soumis sur ses deux faces latérales à des pressions inégales, cède à la plus forte en se portant vers la bronche rétrécie.

Je ne puis, pour ma part, adopter l'interprétation du docteur Holzknecht, du moins pour les cas que j'ai eu occasion d'observer. Dans tous ces cas, en effet, j'ai eu soin d'inviter les malades, après avoir inspiré profondément, à demeurer pendant quelques secondes tout à fait immobiles, le thorax en inspiration forcée, et toujours j'ai vu persister, sans aucun changeme t, le déplacement du médiastin jusqu'au retour du mouvement d'expiration. S'il s'était agi, suivant la théorie du docteur Holzknecht, du rétrécissement de l'une des bronches, l'air qui continuait à pénétrer, pendant l'immobilité du thorax dans le poumon correspondant à la bronche rétrécie, aurait vite fait de rétablir l'égalité de pression sur les deux faces latérales du médiastin, et le déplacement de ce dernier aurait rapidement pris fin.

Dans tous les cas que j'ai vus, j'ai dû invoquer une interprétation toute différente du phénomène et j'ai été amené à considérer le déplacement inspiratoire du médiastin comme un signe de sclérose pulmonaire unilatérale.

Pour comprendre comment la sclérose de l'un des deux poumons peut produire le déplacement du médiastin à l'inspiration, il suffit de réfléchir qu'en pareil cas le médiastin n'est plus, comme à l'état normal, relié aux parois latérales du thorax par deux ressorts également tendus en sens contraire; on peut dire qu'il leur est attaché d'un côté par un ressort parfaite-

ment élastique, de l'autre par un lien à peu près inextensible. Dans les inspirations faibles, où la paroi thoracique du côté malade demeure presque immobile, on s'explique qu'il n'y ait pas de déplacement appréciable du médiastin. Au contraire, dans les inspirations fortes, si cette paroi s'écarte du plan médian antéro-postérieur, le médiastin qui fait corps avec elle, par l'intermédiaire d'un tissu dépourvu d'élasticité, la suit nécessairement dans son excursion.

Ce n'est pas à dire que l'interprétation du docteur Holzknecht ne puisse parfois correspondre à la réalité, mais je crois que les cas de sclérose limitée ou prédominante à l'un des deux poumons sont incomparablement plus fréquents que les cas de sténose bronchique unilatérale.

J'ai discuté les deux interprétations dans un travail présenté à la Société médicale des hôpitaux, dont voici les conclusions à peine modifiées :

Le déplacement du médiastin pendant l'inspiration, constaté à l'examen radioscopique, témoigne toujours d'une inégalité d'énergie dans l'action exercée sur ses deux faces latérales, soit par la pression atmosphérique, soit par l'élasticité pulmonaire.

En dehors des cas d'épanchement liquide ou gazeux de la plèvre, quand les deux poumons, relativement clairs, paraissent perméables à l'air, ce déplacement est un signe soit de sclérose pulmonaire unilatérale, c'est le cas le plus fréquent, soit, par exception, de sténose bronchique unilatérale, le médiastin se déplaçant vers le poumon sclérosé ou vers la bronche rétrécie.

C'est un signe certain de sclérose pulmonaire quand il présente les particularités suivantes : persistance sans aucun changement du déplacement médiastinal pendant tout le temps où le malade immobilise son thorax en inspiration forcée ; variations à peine sensibles du diamètre transversal de l'image pulmonaire du côté malade aux deux temps de la respiration.

Le diagnostic de sclérose pulmonaire est confirmé par les signes radioscopiques suivants observés du côté où se fait le déplacement : moindre clarté et moindre étendue de l'image pulmonaire, resserrement des côtes et moindre ouverture de leur angle d'insertion à la colonne vertébrale, élévation permanente du diaphragme et brièveté de ses excursions.

Le déplacement du médiastin est total ou partiel, suivant que la sclérose occupe toute la hauteur ou seulement l'un des étages du poumon malade, suivant aussi que l'inspiration met en jeu toutes les côtes qui le recouvrent ou se fait suivant l'un des deux types costo-supérieur et costo-nférieur.

Théoriquement, si le déplacement du médiastin est symptomatique de la sténose d'une grosse bronche, on peut prévoir qu'il ne persiste pas pendant tout le temps où le malade immobilise son thorax en inspiration forcée, mais qu'il doit disparaître avant le début de l'expiration suivante, en même temps que l'image pulmonaire du côté malade doit augmenter d'étendue dans tous les sens.

La conclusion de cette étude rapide des déplacements momentanés du médiastin pendant l'inspiration, c'est que l'examen radioscopique de l'ombre médiane du thorax ne sert pas seulement à reconnaître les lésions des organes médiastinaux, mais aide indirectement au diagnostic des lésions des organes voisins, bronches, poumons et plèvres (1).

Docteur A. Béclère,
Médecin de l'hôpital Saint-Antoine.

(1) Pour la bibliographie concernant l'exploration radiologique du thorax, consulter les trois publications suivantes de l'auteur, dans la collection des *Actualités médicales : Les rayons de Röntgen et le diagnostic de la tuberculose*, Paris, J.-B. Baillière et fils, 1899 ; *Les rayons de Röntgen et le diagnostic des affections thoraciques*, Paris, J.-B. Baillière et fils, 1901 ; *Les rayons de Röntgen et le diagnostic des maladies internes*, Paris, J.-B. Baillière et fils, 1903 (sous presse).

VII. — COU, LARYNX, PHARYNX, COLONNE CERVICALE.

GÉNÉRALITÉS

La région du cou, bien que difficile à examiner, a bénéficié elle aussi de la découverte de Röntgen. Peu à peu les appareils s'étant perfectionnés, on est arrivé à y découvrir des détails qui, au début, passèrent inaperçus ou ne purent être précisés. Peu de spécialistes cependant ont employé d'une façon courante le nouveau mode d'examen à l'exploration du cou. En Allemagne, Scheier (1) (de Berlin) se consacra à ces recherches dès 1896, et à peu près en même temps, en Angleterre, Macintyre (de Glasgow) fit connaître ses premières expériences. En France, les remarquables observations du professeur Bouchard donnant l'impulsion, on appliqua rapidemment la radioscopie aux différents organes; Mignon (de Nice) continua les études faites à l'étranger sur la région cervicale et le larynx en particulier.

Nous indiquerons plus loin les travaux auxquels nous avons dû faire des emprunts.

(1) Nous tenons à remercier ici particulièrement M. Scheier des très intéressants documents qu'il a bien voulu mettre à notre disposition.

CHAPITRE PREMIER

TECHNIQUE

Bien que la technique générale de la radioscopie et de la radiographie ait été amplement traitée dans une autre partie de cet ouvrage, nous ne pouvons commencer l'exposé des résultats, sans parler de la technique spéciale qui convient à la région du cou

Les organes qu'elle contient sont difficiles à examiner ; plusieurs même ne peuvent être étudiés que séparément, c'est-à-dire seulement au point de vue anatomique. Pour obtenir des rayons de Röntgen ce qu'ils sont capables de révéler dans cette région, il faut avoir recours à tous les moyens qui augmentent leur précision.

Comme pour le reste de l'organisme, on emploie la radioscopie ou la radiographie ; elles ont l'une et l'autre leurs avantages et leurs inconvénients et, par conséquent, leurs indications suivant les renseignements que l'on cherche (1).

A. — Examen radioscopique

L'examen radioscopique du cou est fait avec d'autant plus de précision que le sujet observé est plus maigre.

Générateur. — On le pratique, comme pour les autres organes, en se servant soit d'une *bobine* actionnée par un courant de ville ou par des accumulateurs, soit d'une *machine statique*. — Nous n'insisterons pas sur ces deux méthodes, dont les avantages sont discutés ailleurs ; nous dirons cependant que l'emploi des bobines nous semble préférable.

Pour fournir un éclairage suffisant à cette région, le *transformateur* devra pouvoir donner au moins 35 centimètres d'étincelle et être actionné par un interrupteur rapide à mercure ou électrolytique. Tous les examens que nous avons pratiqués pour nos recherches ont été faits au moyen de bobines donnant de 35 à 50 centimètres d'étincelle.

(1) Maurice Mignon, *Etude anatomo-clinique de l'appareil respiratoire et de ses annexes par les rayons de Röntgen*. Thèse de Paris, 1898.

Tube. — Le choix du tube n'est pas non plus à négliger; tout en ayant une fixité aussi grande que possible, il doit donner un très bon éclairage. Or, on sait que la résistance des tubes est très variable et qu'elle change considérablement leur pouvoir éclairant; on doit donc la diminuer lorsqu'elle est trop grande, en chauffant la tige de platine, si le tube est à osmo-régulateur ou, s'il ne l'est pas, en le chauffant sur toute sa surface (1). Indépendamment du simple examen du tube et de l'emploi du fluoroscope, on pourra surveiller la résistance, d'une façon pour ainsi dire automatique, par l'emploi du spintermètre (2) de Béclère. — Le tube assurant ainsi un bon éclairage, il sera bon de le déplacer pendant l'examen dans les différents sens, chose rendue aisée par le cadre porte-tube vertical de Guilleminot ou de Béclère. Malgré le peu d'étendue de la région que nous avons à examiner, cette précaution ne doit pas être négligée et elle évite de demander au malade des déplacements souvent mal exécutés.

Comme on le sait, les mouvements de l'ampoule sont destinés à faire tomber le rayon d'incidence normale au point précis que l'on veut examiner. Ce rayon nous sera toujours indiqué soit au moyen d'un double croisé de fils, soit par le radiogoniomètre. Lorsque nous examinerons le larynx, nous amènerons le rayon normal au niveau du centre même de l'organe; si nous voulons préciser la position d'un corps étranger, c'est au niveau de l'ombre de celui-ci que le croisé de fils devra correspondre; de même, pour l'examen de la colonne cervicale, le rayon normal devra se confondre avec la ligne de projection de sa face antérieure, lorsque nous ferons l'examen en position sagittale, et nous lui ferons suivre cette ligne dans toute sa longueur pour l'examiner d'une façon complète.

Ecran. — Quant à l'écran, il devra être adapté à cette région; s'il a des dimensions trop grandes, il est arrêté par le menton dans la position frontale et par la saillie de l'épaule dans la position sagittale. Aussi, nous servons-nous d'un écran de 9 centimètres de hauteur et de 12 centimètres de longueur; comme les écrans généralement employés, il est enduit de platino-cyanure de potassium, fixé sur un carton à bords souples permettant d'appliquer sa surface d'une façon intime sur la région cervicale. L'usage du diaphragme-iris de Béclère est à recommander dans l'étude d'organes aussi difficiles à explorer.

Méthodes diverses. — Nous n'avons parlé jusqu'ici que de la radioscopie ordinaire, en indiquant les précautions importantes que l'étude de cette région exige.

Méthode de Bouchacourt (3). — On pourra lui demander quelques indica-

(1) Nous employons maintenant de préférence des tubes pouvant être réglés par le courant électrique lui-même, ayant eu l'occasion d'en constater les bons résultats au cours d'un voyage fait récemment pour visiter les principaux instituts spéciaux d'Allemagne et d'Autriche.

(2) Béclère, La mesure indirecte du pouvoir de pénétration des rayons de Röntgen à l'aide du spintermètre. *Archives d'électricité médicale*, 15 avril 1900, p. 143.

(3) Bouchacourt, *De l'exploration des organes internes*. Th. de doct., Paris, 1898.

tions; elle permet d'introduire une petite ampoule dans la bouche ou d'en mettre une en contact avec l'un des côtés du larynx, tandis qu'on place l'écran sur l'autre face.

Malheureusement ce procédé, tout en ayant l'avantage de montrer d'une façon très précise l'image d'un point voisin du tube, a l'inconvénient de donner sur toute la périphérie très peu de détails et beaucoup de déformations. L'éclairage simple est donc préférable pour voir le larynx ou la colonne cervicale.

Méthode de Macintyre. — Une autre méthode a été préconisée par Macintyre (1), pour appliquer les rayons de Röntgen à l'examen des fosses nasales et du larynx.

Le procédé d'Edison consistait à réfléchir les rayons sur un miroir enduit de tungstate de calcium ; Macintyre imagina des miroirs laryngoscopiques faisant l'office d'écrans fluorescents et les enduisit d'une couche de platinocyanure de baryum. Les rayons traversent les tissus du cou et vont frapper le miroir. Pour examiner le larynx, le tube de Crookes est placé au-dessous et en avant du cou ; les rayons pénètrent obliquement dans les tissus de bas en haut et d'avant en arrière ; ils arrivent ainsi sur le miroir enduit de platinocyanure de baryum, faisant l'office d'écran fluorescent. Cet écran les réfléchit et les renvoie à l'œil de l'observateur. Les corps étrangers peuvent être vus de cette façon, mais les ombres des organes subissent de grandes déformations, qui les rendent difficiles à interpréter.

Macintyre modifia ensuite son procédé ; il employa, en plus du miroir, un abaisse-langue en verre ou en caoutchouc durci recouvert de platinocyanure. Quand les rayons tombent sur l'écran, il s'illumine et fournit une image des tissus compris entre lui et le tube ; on la réfléchit à l'aide d'un miroir laryngien. Plus le tube est lumineux, plus on peut l'éloigner du cou et moins il y a de déformations. Afin d'éviter les accidents toxiques que causeraient les sels, on devra les recouvrir d'une petite lame de verre, ou les isoler de la muqueuse au moyen d'une mince couche d'aluminium.

Nous n'en dirons pas plus long sur tout ce qui concerne l'instrumentation destinée à la radioscopie du cou ; il est évident qu'on devra s'entourer de toutes les précautions nécessaires à un examen radioscopique, et nous n'avons pas besoin de faire ressortir la nécessité d'une obscurité complète (2), d'autant plus importante que les organes du cou donnent des taches peu intenses. Il faut aussi avoir une grande habitude pour les interpréter. Lorsqu'on pratique de nombreux examens de cette région, on est frappé de la différence de netteté qu'elle présente suivant les sujets ; il n'y a peut-être pas d'autre endroit de l'organisme qui soit aussi variable. Chez les sujets très gras et bien musclés, on ne différencie presque rien ; chez les individus

(1) Macintyre, De l'emploi des rayons X et des écrans fluorescents dans les régions nasale et pharyngienne. *Archives internationales de laryngologie*, 1896, p. 394.

(2) Béclère, Etude physiologique de la vision dans l'examen radioscopique. *Association française pour l'avancement des sciences*, Boulogne-sur-mer, 1899.

maigres, chez les femmes et les enfants, on a au contraire des indications très nettes sur la colonne cervicale, mais le larynx est plus visible chez les vieillards.

Facile à radiographier sur le cadavre, il est très difficile à reproduire nettement sur le vivant. En 1897, malgré des tentatives répétées, Scheier n'avait pu avoir aucun résultat satisfaisant. En 1898, l'un de nous a radiographié avec succès le larynx d'un vieillard de quatre-vingts ans, dont une épreuve nette a été publiée. En dehors de la recherche des corps étrangers, les rayons sont relativement peu employés à l'examen de la région cervicale, tant en France, qu'à l'étranger (1).

Le temps de pose n'est pas absolu, puisqu'il dépend des conditions dans lesquelles on opère. D'une façon générale, pour obtenir toute la région du cou, la pose sera de deux à cinq minutes ; pour le larynx, de une demi-minute à deux minutes, selon les sujets.

Nous ne parlerons pas du *développement* des clichés et de leur *tirage*, qui sont très importants cependant, mais n'ont absolument rien de spécial à cette région. Disons seulement qu'il est souvent utile de renforcer les clichés et qu'il vaut mieux étudier le négatif, où il y a toujours plus de finesse que sur le positif. De plus, on évite ainsi le renversement de l'image.

Quant à *l'interprétation des ombres*, elle est souvent difficile ; elle ne doit se faire qu'en tenant compte de toutes les données concernant l'opération radiographique et le sujet examiné. (Position du rayon d'incidence, distance et résistance du tube, temps de pose, ampérage, etc...)

Il arrive qu'avec une bonne épreuve on hésite pour expliquer la cause d'une ombre ; deux clichés, l'un sagittal, l'autre frontal, se complètent utilement dans bien des cas. Mais il est encore un moyen qui est appelé à rendre de grands services, la *radiographie stéréoscopique*. N'ayant pas encore l'habitude de l'appliquer à cette région, nous voulons seulement en indiquer l'utilité, cette question étant traitée au point de vue général dans une autre partie de l'ouvrage.

B. — Examen radiographique

Si la radioscopie nous permet de voir les mouvements des organes, particulièrement importants dans le cou, la radiographie laisse des indications durables et souvent plus précises ; aussi, bien que cette région soit difficile à radiographier, elle doit l'être assez souvent. Nous allons indiquer comment on obtient de bonnes radiographies cervicales.

Position du sujet. — Comme pour l'examen radioscopique, on place le sujet soit en position frontale, soit en position sagittale, selon le but à atteindre.

(1) Mignon (de Nice), La Radiologie à l'étranger. *Archives d'électricité médicale.* 15 janv. 1903.

Une radiographie *frontale* postérieure est prise en plaçant le malade dans le décubitus dorsal sur une table radiographique permettant l'extension de la tête. Il sera utile, suivant la méthode de Guilleminot, de noter toutes les indications permettant d'interpréter l'épreuve et de la comparer à une autre de même sorte (1). On définit le point d'indicidence normale que l'on a choisi soit par un repère anatomique quand on le peut, soit par son ordonnée et son abscisse sur l'axe de la région, si les repères anatomiques manquent (2).

Cette méthode pourra être appliquée aussi à une radiographie frontale antérieure ; mais, dans la grande majorité des cas, on devra préférer la radiographie postérieure.

Une radiographie *sagittale* est prise en plaçant le cou sur une sorte de pupitre lui permettant d'être perpendiculaire au plan des épaules. Pour déterminer le point incident choisi, on peut le repérer sur l'axe antérieur (sterno-hyoïdo-mentonnier) ou postérieur (axe cervical postérieur), ou bien on peut encore, comme nous l'avons fait souvent, tracer sur la peau, en faisant l'examen à l'écran, la ligne correspondant à la face antérieure de la colonne cervicale, lorsque l'incidence se fait normalement à elle. Tous les sujets peuvent alors être comparés entre eux d'une façon anatomique, comme dans la position frontale. L'ordonnée a pour numérateur la distance du trou occipital au point choisi et pour dénominateur la longueur de la colonne cervicale. L'abscisse, au lieu d'être droite ou gauche, est antérieure ou postérieure ; son numérateur est la distance du point à l'axe tracé, et son dénominateur est la circonférence du cou à ce niveau, de même que pour une radiographie frontale. Selon le côté sur lequel le sujet est couché, la position sagittale est dite en appui latéral droit ou gauche.

A ces indications on ajoute la distance du tube à la plaque, l'épaisseur de l'organe examiné, s'il s'agit d'une étude anatomique, l'ampérage du courant, la longueur de l'étincelle de résistance, et les renseignements nécessaires sur le sujet examiné.

Entre les deux positions dont nous avons parlé, laquelle doit-on choisir ?

La position frontale est utile surtout pour l'étude de la colonne cervicale, dont elle donne la projection antéro-postérieure. La position sagittale nous permet de voir le profil du larynx et de la trachée, le pharynx et la première partie de l'œsophage, la colonne cervicale, dont on ne voit plus les apophyses transverses, mais les corps vertébraux et les apophyses épineuses. S'il s'agit de corps étrangers inclus soit dans les tissus, soit dans le larynx ou l'œsophage, le choix de la position est subordonné aux dimensions du corps opaque et à la position que l'écran a permis de lui reconnaître. S'il

(1) Guilleminot, *Radioscopie et radiographie cliniques de précision.* Paris, 1900.

(2) L'axe antérieur, d'après cet auteur, est la ligne sterno-hyoïdo-mentonnière, et l'ordonnée est exprimée par une fraction ayant pour numérateur la hauteur du point incident au-dessus de la fourchette sternale et pour dénominateur la longueur de l'axe. L'abscisse est exprimée par une fraction ayant pour numérateur la distance du point incident à l'axe et pour dénominateur la circonférence du cou à ce niveau.

s'agit, comme le fait remarquer Régnier (1), d'une aiguille ou d'une épingle couchée plus ou moins horizontalement dans le larynx, on l'apercevra très bien par la radioscopie ou la radiographie frontale ; si elle est à peu près verticale, ou inclinée seulement d'un certain angle, la position sagittale permettra mieux d'apprécier sa situation exacte et ses dimensions.

Durée de pose. — Nous devons maintenant nous occuper du temps de pose qui convient à la région ; il varie nécessairement avec l'éclairage des ampoules et les moyens employés pour obtenir l'épreuve.

Le papier au gélatino-bromure, qui peut suppléer les plaques pour les régions faciles à explorer, est absolument insuffisant pour le cou. Sa sensibilité étant quatre fois moins grande environ que celle des plaques ordinaires, nous l'avons employé concurremment avec elles en mettant quatre fois plus de pose, mais le résultat a été mauvais.

Les pellicules ou les plaques de celluloïde devront lui être préférées ; comme lui, elles se moulent sur la région et peuvent être rendues très sensibles, si elles sont émulsionnées sur les deux faces. Elles sont particulièrement utiles pour les radiographies sagittales ; elles peuvent être moulées sur le cou à l'aide d'une bande, ou introduites dans la bouche, si l'on veut obtenir certains points de la région sus ou sous-hyoïdienne. Mais leur adaptation à la forme extérieure a aussi un inconvénient, car, si elle tend à rapprocher l'image de l'objet, elle produit des déformations dont il faut soigneusement tenir compte dans l'interprétation.

Les plaques de verre donnent de bons résultats, en particulier pour les radiographies frontales postérieures ; il faut les choisir aussi sensibles que possible et, pour diminuer le temps de pose, donner la préférence aux plaques dites radiographiques.

Le choix d'ampoules bien lumineuses, l'emploi des écrans renforçateurs, des interrupteurs électrolytiques, sont aussi des conditions de rapidité.

Si l'on cherche à examiner surtout la colonne cervicale ou un corps étranger bien fixé, ces précautions ne sont pas indispensables. Mais pour photographier le larynx, on ne peut arriver à de bons résultats qu'avec une pose très courte, en raison des mouvements presque continuels de cet organe.

(1) Régnier, *Radioscopie et radiographie cliniques.* Baillière, Paris, 1899, p. 49.

CHAPITRE II

EXAMEN ANATOMIQUE DE LA RÉGION CERVICALE

Le cou se présente sous un aspect très différent, suivant les sujets que l'on examine. Malgré les variations individuelles, on peut cependant décrire un ensemble d'ombres correspondant aux différentes périodes de la vie.

Nous suivrons, pour notre descriptions topographique, le plan que nous indique l'évolution de l'organisme; en commençant par l'enfant, chez lequel le sexe ne modifie pas notablement l'aspect de la région, nous arriverons à l'examen de l'adulte homme ou femme, et nous suivrons ainsi tous les changements que peuvent nous montrer les rayons X aux différents âges.

§ 1. — **Fœtus.**

Chez le fœtus, tous les organes sont absolument traversés, à l'exception de la colonne cervicale, dont on suit l'ossification sans faire de dissection. On vérifie ainsi, beaucoup plus rapidement que par les recherches ordinaires, l'époque d'apparition des points primitifs latéraux vers la fin du deuxième mois, puis du point primitif médian au milieu de la grossesse. Quant à la façon dont ces points se soudent, elle ne peut pas être étudiée par un examen d'ensemble. Nous parlerons plus loin des recherches que les rayons de Röntgen permettent de faire sur les organes de la région étudiés séparément et non plus d'une façon topographique.

Sur les radiographies de fœtus à terme, on ne voit souvent que les vertèbres; cependant on peut aussi distinguer dans quelques cas le point d'ossification du corps de l'os hyoïde et même ceux des grandes cornes. S'il existe des anomalies de développement, il est intéressant de les étudier par les rayons de Röntgen. Sans parler de l'étude tératologique de cette région, nous savons que Destot (de Lyon) a pu déterminer le trajet de fistules branchiales en l'injectant avec une pommade à la poudre de bronze, et voir ainsi l'origine de la fistule. Quand il y a suppuration, on peut introduire

dans le trajet un crayon d'iodoforme dont l'ombre se manifeste assez intense.

§ 2. — Enfant.

Si nous examinons maintenant des enfants, les indications se complètent peu à peu.

A. — Examen sagittal.

Colonne cervicale. — Les vertèbres s'enrichissent des points complémentaires et, à mesure que ceux-ci augmentent de volume, leurs ombres prennent graduellement de l'intensité et de la netteté, jusqu'à ce qu'elles forment une silhouette d'ensemble.

C'est seulement vers 15 ou 16 ans que les vertèbres donnent une projection complète de leurs formes. Avant cet âge, en effet, les cartilages de conjugaison du corps et ceux des apophyses sont traversés, et l'on ne voit que les ombres des points d'ossification plus ou moins développés.

En même temps, on suit l'augmentation de volume de l'os hyoïde, sur lequel on ne voit pas encore les petites cornes.

Larynx. — Jusqu'à l'âge de 6 ou 7 ans, tous les tissus autres que les points vertébraux sont impossibles à différencier, et le larynx est complètement traversé. Il arrive souvent que la transparence de cet organe est complète pendant toute l'adolescence. Pour deux raisons, on ne peut établir de limite absolue à l'époque d'apparition des cartilages sur l'image : d'abord, parce que ceux-ci ne se modifient pas exactement au même âge chez tous les sujets, ensuite parce que la nature des tissus environnants influe sur la netteté de la région.

Chez les garçons, le larynx apparaît d'une façon générale plus tôt que chez les filles ; il se montre aussi avec plus de détails chez les enfants maigres, la graisse donnant une teinte grise à toute la région.

En examinant des enfants de 6 à 7 ans, nous avons commencé à voir au fluoroscope une ombre légère au niveau du bord postérieur du cartilage thyroïde.

Jusqu'à 8 à 10 ans, le cricoïde et les aryténoïdes nous ont toujours paru complètement traversés.

Vers 11 ans, on distingue le cartilage cricoïde, à l'occasion de ses mouvements d'élévation pendant la déglutition ; en même temps, le cartilage thyroïde se montre un peu plus nettement, mais seulement dans sa partie postérieure.

Pendant cette période d'évolution, le sexe ne joue aucun rôle dans les modifications de l'aspect.

A 14 ou 15 ans, le contour des cartilages prend plus de précision chez les garçons, tandis que chez les filles il se dessine encore d'une façon très vague pendant plusieurs années ; nous avons vu des jeunes filles de 20 ans chez lesquelles le larynx était pour ainsi dire complètement traversé, tandis que des garçons de cet âge présentaient des ombres très nettes de leurs cartilages laryngés. Cela tient évidemment aux modifications importantes qui différencient le larynx, à partir de l'adolescence, dans l'un et l'autre sexe.

Nous ne terminerons pas cet exposé des changements d'aspect du larynx avant l'âge adulte, sans faire remarquer que toutes les ombres dont nous avons parlé sont très légères et demandent un examen prolongé pendant les mouvements de déglutition. Les ombres laryngées, en effet, n'atteignent une certaine opacité que chez l'adulte, à partir du moment où commence l'ossification des cartilages.

Trachée. — Elle ne se distingue pas du tout chez les enfants ; on voit la bande claire qui lui correspond seulement à l'approche de l'âge adulte. Inutile de dire que, même à ce moment, on n'y découvre pas trace de ses anneaux.

Pharynx. — Il est indiqué en arrière par la projection des corps vertébraux, et en avant seulement par le bord postérieur du cartilage thyroïde ; les tissus mous de ses parois ne permettent pas de voir ses limites, mais les organes voisins servent de points de repère, chose très utile dans les cas de corps étrangers. Il en est de même pour la partie cervicale de l'œsophage, impossible à différencier autrement que par la zone foncée de la colonne cervicale et la bande claire de la trachée.

Corps thyroïde. — Il est complètement invisible chez l'enfant à tous les âges, son volume n'étant pas suffisant pour qu'il donne une ombre appréciable sur les autres tissus. Il en est de même de la portion cervicale du thymus ; quand cet organe se révèle, c'est seulement au voisinage du manubrium, et encore peut-on discuter l'interprétation de l'ombre légère et peu étendue qui peut quelquefois lui être attribuée. Mais nous n'avons pas à nous étendre sur ce point, qui trouvera sa place dans l'étude du médiastin.

Ganglions cervicaux. — Nous voulons en dire quelques mots. Chez quelques enfants, la partie moyenne du cou présente dans toute sa hauteur un peu d'opacité. Cet aspect correspond en général à une hypertrophie ganglionnaire que l'on peut constater dans sa partie superficielle. Chez l'enfant, l'état des ganglions peut donc être étudié par ce moyen.

B. — Examen frontal.

L'examen frontal ne permet de voir que la colonne cervicale, dont on peut distinguer aisément le développement progressif des apophyses articulaires et transverses, comme nous avons suivi par l'examen sagittal l'évolution des apophyses épineuses. Les corps vertébraux sont étudiés

moins nettement dans cette position, car leur projection se confond en partie avec celle des apophyses épineuses très inclinées sur eux.

Nous arrivons maintenant à l'âge adulte, où la région présente des détails plus nombreux et plus précis lorsqu'on examine des sujets présentant de bonnes conditions d'examen. Nous exposerons l'aspect de la région, non plus comme nous avons dû le faire chez l'enfant dans l'ordre d'apparition des organes, mais d'après leur situation topographique.

§ 3. — **Adulte.**

A. — Examen frontal.

L'examen frontal ne donne des indications un peu précises que si l'on s'adresse à des individus très maigres, en particulier à des femmes dont les muscles moins vigoureux produisent des ombres moins intenses. On étudie ainsi surtout la région postérieure, que l'on applique en contact avec l'écran ou la plaque.

Les vertèbres sont, dans certains cas, très visibles, et l'on peut distinguer la silhouette de leurs apophyses transverses et articulaires. Sur quelques clichés, les rayons indiquent les contours des grosses masses musculaires ; plus on les voit nettement, moins les vertèbres se détachent sur le fond transparent. Les mouvements des vertèbres seront exposés plus loin, dans la physiologie.

Quant aux autres organes, ils sont tout à fait invisibles dans cette situation : le larynx et la trachée se confondent dans l'ombre des corps vertébraux. Il en est de même de la partie inférieure du pharynx et supérieure de l'œsophage. Le corps thyroïde normal ne donne pas d'ombre ; il se voit seulement dans les cas de goitre, dont nous reparlerons plus loin. En somme, le cou doit être vu surtout dans le plan sagittal, où la colonne, ne jouant plus le rôle d'écran, se voit séparément en arrière des autres organes.

B. — Examen sagittal.

Larynx. — 1° *Chez l'homme.* — Tout d'abord, en avant et en haut, à 2 centimètres environ du bord inférieur du maxillaire, se voit l'os hyoïde, avec ses grandes cornes, surmontées, chez les gens assez âgés, des petites cornes. Au-dessous de lui, on aperçoit l'ombre du larynx. Cet organe, moins difficile à voir que chez l'enfant, doit cependant être examiné dans une obscurité complète et prolongée. Aussi, n'avons-nous pas parlé dans la technique de l'emploi du fluoroscope comme chambre noire. Plus on prolonge l'examen, plus on arrive à découvrir de détails dans la projection des cartilages. Il faut aussi être en garde contre la position vicieuse que

peut prendre le sujet, dont le plan sagittal doit être absolument parallèle au petit écran. Celui-ci étant flexible pourra être appliqué étroitement sur le cou pour augmenter la netteté de certains points ; mais, dans cette situation, l'écran donne une déformation, bien que le sujet soit en bonne position.

Pour voir les cartilages projetés sur l'écran à peu près grandeur nature, on place le tube assez loin du cou. Si, au contraire, on veut distinguer particulièrement les points ossifiés, on rapproche le tube pour avoir plus d'oppositions et l'on tient compte de la situation du rayon normal ; on ne compare entre eux que les points éclairés d'une manière identique.

Ces précautions prises, on constate qu'à partir de l'âge adulte le larynx



Fig. 333. — Région du larynx, homme de 80 ans.

ne présente pas, comme chez l'adolescent, une ombre uniforme dans toute son étendue. L'épiglotte, qui surmonte l'ombre laryngée, se voit entre les cornes de l'os hyoïde, surtout au moment de ses mouvements. Dans l'âge avancé, elle produit une tache plus foncée, qui peut se voir d'une façon manifeste, même quand elle est au repos.

La tache du cartilage thyroïde présente une intensité un peu plus grande au niveau de son bord postérieur. Cette zone foncée, qui apparaît chez l'homme vers 20 ans, peut être déjà très étendue vers 30 ans. Les ombres se détachent mieux en faisant exécuter au malade de fréquents mouvements de déglutition, qui permettent de distinguer les déplacements correspondants des taches et en même temps leurs limites.

A mesure que l'âge augmente, cette partie postérieure du cartilage devient plus opaque et permet de reconnaître nettement les cornes supérieures. Leur tache fournit même un moyen pour s'assurer que le sujet est bien dans un plan perpendiculaire au rayon normal, car elles doivent se

superposer absolument. Dans le cas contraire, on les voit l'une et l'autre avec une intensité inégale, la plus rapprochée donnant, comme c'est la règle, une ombre plus intense.

La partie antérieure du cartilage apparaît assez nettement au niveau de l'angle ; en arrière de lui, on arrive quelquefois à découvrir un espace clair correspondant au ventricule de Morgagni. Cette tache est visible surtout sur les sujets de 40 à 50 ans ; elle est ménagée par la disposition de l'ossification, dont la marche peut être étudiée d'une façon très précise sur l'organe séparé. Pour que le ventricule se distingue, il ne faut pas non plus que l'âge soit trop avancé, car l'ossification complète masque la tache claire qui lui correspond. Quant aux cordes vocales, elles ne sont pas visibles par transparence. Le bord supérieur ne se voit bien nettement que chez les hommes âgés de 60 ans et plus. Le bord inférieur, au contraire, prend une teinte foncée d'assez bonne heure, mais les cornes inférieures ne sont jamais nettes.

En effet, lorsqu'elles s'ossifient, le cartilage cricoïde devient lui-même opaque à sa partie postérieure, de sorte que son ombre se confond à ce niveau avec les cornes. La tache correspondante s'avance de plus en plus avec l'âge, et le cricoïde, visible à partir de 20 à 25 ans, surtout au moment des mouvements de déglutition, arrive à former une ombre foncée qui se différencie vigoureusement du conduit trachéal.

Les aryténoïdes, chez les sujets jeunes, ne se distinguent pas dans l'ombre d'ensemble formée par le larynx. A partir de 35 à 40 ans, on voit à leur niveau une petite tache assez intense placée en avant et un peu au-dessous des cornes supérieures ; elle augmente d'intensité et d'étendue avec l'âge.

Quant aux cartilages de Santorini, ils sont trop peu volumineux pour que, malgré leur ossification, on arrive à les distinguer sans enlever l'organe.

A 70 ou 80 ans (1), toutes les parties du larynx chez l'homme se voient nettement ; elles ne se manifestent plus, comme dans le jeune âge, par des ombres légères difficiles à délimiter en dehors des mouvements, mais par des taches foncées qui révèlent tous les contours de l'organe. A ce moment, on ne peut plus faire de distinction entre les zones foncées et les zones seulement grises ; malgré quelques différences d'intensité, toute l'étendue des cartilages donne une ombre comparable à celle des os.

A cet âge, l'appareil hyoïdien subit dans son ensemble des modifications que les rayons de Röntgen peuvent déceler. L'apophyse styloïde et l'os hyoïde, réunis par des ligaments et un fibro-cartilage, arrivent quelquefois par les progrès de l'ossification à former un appareil osseux complet.

Les anatomistes en ont étudié un certain nombre de cas, Sappey entre autres ; récemment, Sébileau et Gibert en ont présenté un exemple intéressant à la Société anatomique (2), où l'on voit distinctement le stylo-hyal,

(1) Mignon, *Loc. cit.*, page 83 et planche I, figure 2.

(2) Sébileau et Gibert, Un appareil hyoïdien complet chez l'homme. *Bulletins et Mémoires de la Société anatomique de Paris*, juillet-août 1900, p. 794.

l'épi-hyal, le cérato-hyal, l'hypo-hyal et le basi-hyal avec une enveloppe fibreuse complète. Lorsqu'on se trouvera en présence d'un cas semblable, on verra la petite corne de l'os hyoïde prolonger son ombre jusque sous l'angle du maxillaire, dans la direction de l'apophyse styloïde ; celle-ci se distingue dans l'espace clair placé en arrière de la branche montante du maxillaire. La partie moyenne ne pourra être vue, étant masquée par cet os.

Telles sont les modifications dues à l'âge que les rayons de Röntgen permettent de voir dans le larynx. Il y a aussi quelques différences d'aspect selon le sexe; les constatations que nous avons exposées se rapportent à l'homme.

2° *Chez la femme.* — Le larynx conserve beaucoup plus longtemps l'aspect infantile ; l'étude de l'organe par transparence confirme les résultats de l'examen laryngoscopique et en même temps les recherches anatomiques. Par le simple examen topographique de l'organe, on constate que les zones foncées apparaissent plus tard et d'une façon un peu différente.

Jusqu'à 30 ou 40 ans, on voit, comme chez les adolescents, la forme générale de l'organe, qui se manifeste seulement par une teinte légère et uniforme, dont les limites sont surtout appréciables à l'occasion des mouvements de l'organe. Vers cet âge et souvent plus tard, le bord postérieur du thyroïde prend une teinte un peu plus foncée et l'ombre qui commence à paraître s'étend graduellement d'arrière en avant, sans qu'il se forme d'autre zone opaque. L'épiglotte se distingue difficilement, les aryténoïdes passent inaperçus ; quant au cricoïde, il se voit assez bien, mais à un âge plus avancé que chez l'homme.

Même lorsque la femme atteint 60 ou 70 ans, son larynx ne présente une certaine opacité qu'au niveau de la partie postérieure du thyroïde et du cricoïde.

Nous ne voulons pas insister trop longtemps sur ces différences, que nous exposerons d'une façon plus précise en étudiant l'organe séparé de la région. Cependant un fait signalé par Berthold (1) nous semble digne d'être signalé : une personne de 22 ans, portant un nom féminin, ne présentait pas un sexe bien déterminé ; Scheier, en l'examinant, constata par les rayons X que le cartilage thyroïde avait par son ossification un aspect qu'il n'avait jamais observé que chez l'homme ; l'examen laryngoscopique montra des cordes vocales remarquablement longues et larges ; enfin l'exploration minutieuse des parties génitales, chose capitale, prouva que les prévisions de la radioscopie étaient justifiées. Il y a donc entre les deux sexes, à partir de 20 à 25 ans, une différence d'aspect caractéristique dans l'examen du larynx par transparence.

Les constatations que nous venons d'exposer résultent des recherches

(1) Berthold, Un cas d'hermaphrodisme masculin. *Archiv für Laryngologie Frankel*, t. IX, p. 70.

entreprises par Scheier, Macintyre et nous-même ; il ne s'ensuit pas qu'elles s'appliquent à tous les individus d'une façon scrupuleusement exacte. Il y a, suivant les sujets, de grandes différences ; l'opacité des taches ne répond pas toujours à l'âge du sujet, et leur apparition ne se fait pas dans un ordre immuable. On a attribué cette variabilité à des différences pathologiques ou physiologiques. On n'a pas encore pu préciser cependant la relation qui existe entre les affections inflammatoires du larynx et la marche de l'ossification ; d'ailleurs, l'organe est toujours moins net quand il y a inflammation des tissus. Chez les chanteurs, l'ossification ne semble pas modifiée, comme avaient cru le remarquer Segond, puis Merkel ; du reste, ils sont d'un avis contraire, l'un trouvant dans le fonctionnement de l'organe une cause favorable, l'autre une cause défavorable.

Puisque l'ossification ne suit pas une marche régulière, l'aspect de la région est sujet à des variations, surtout si l'on considère les autres facteurs qui modifient la netteté, l'état des muscles et du tissu cellulo-adipeux. Les radiographies, bien que difficiles à obtenir, peuvent montrer dans le larynx des détails que l'écran laisse échapper ; nous en avons nous-même obtenu plusieurs sur le vivant, qui nous ont permis de voir d'une façon durable les ombres passagères de l'écran.

Trachée. — Elle apparaît au-dessous de l'ombre laryngée, sous forme d'une bande claire ; chez les vieillards, on peut même distinguer ses anneaux, dont la teinte grise alterne avec l'espace clair qui les sépare. Le conduit trachéal présente généralement sur le vivant un diamètre un peu inférieur à celui du cadavre, en raison de la tonicité de la paroi musculaire qui réunit les anneaux en arrière.

Corps thyroïde. — Il est presque traversé par les rayons ; cependant, en avant de la paroi trachéale, on voit au niveau de son isthme une zone un peu plus sombre, et les lobes sont légèrement indiqués ; l'espace clair du conduit est interrompu sur certaines radiographies par une tache correspondant à leur situation. Sur l'écran, on n'arrive pas à voir ces faibles différences d'intensité, à moins qu'il n'y ait hypertrophie de l'organe.

Pharynx et œsophage. — La partie inférieure du pharynx est représentée par l'espace clair situé au-dessous du maxillaire, en avant de la colonne vertébrale et en arrière du larynx. L'œsophage est indiqué au-dessous par une zone moins claire, l'espace vide étant moins grand. L'ombre de l'œsophage, beaucoup plus faible que celle des corps vertébraux, se différencie difficilement de la trachée, mais chez certains sujets, on distingue leurs limites. — Nous n'avons pas à suivre l'œsophage plus loin ; du reste, la position sagittale ne le permet pas.

Colonne cervicale. — Moins facile à étudier chez l'adulte que chez l'enfant, elle se voit cependant très bien sur les sujets maigres. Les rayons de Röntgen permettent de contrôler sans dissection les recherches anatomiques faites sur la colonne vertébrale débarrassée des parties molles.

L'ombre des corps vertébraux présente une convexité en avant qui va de

l'axis à la première dorsale ; la courbe régulière est plus saillante à l'union des quatrième et cinquième cervicales; la flèche ou distance qui sépare ce point de la corde tendue sur les radiographies entre les deux extrémités de l'arc varie entre 8 et 12 millimètres.

En arrière, les apophyses épineuses donnent une ombre bien limitée et forment par leurs sommets une concavité plus accentuée que la convexité antérieure ; en inspectant successivement l'ombre de chaque apophyse au

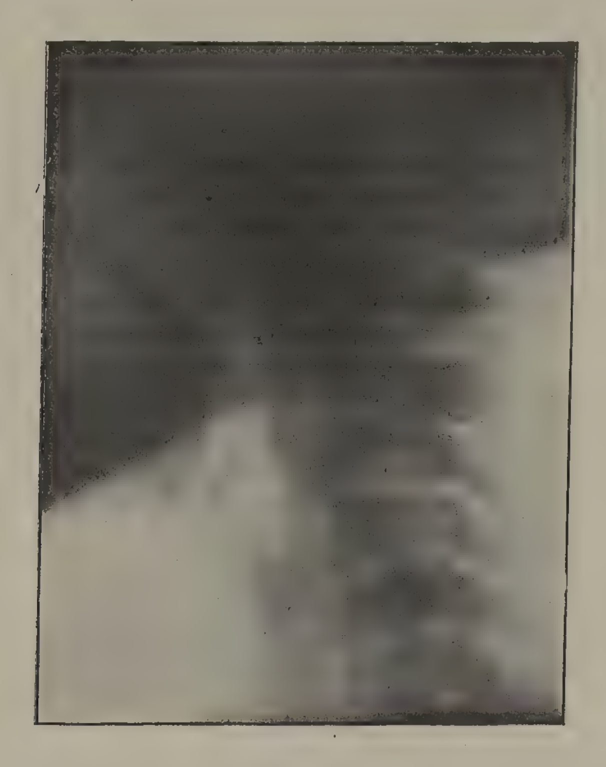


Fig. 334. — Radiographie cervicale sagittale, femme de 16 ans. Incidence normale, face antérieure de 4 vertèbres.

moyen du rayon normal, on constate avec exactitude le faible développement des apophyses des troisième, quatrième et cinquième vertèbres, relativement à celles de l'axis et de la septième.

On distingue entre les corps vertébraux l'espace clair correspondant au ligament intervertébral, dont on peut apprécier ainsi la différence d'épaisseur en avant et en arrière; on sait en effet que, par suite des courbures de la colonne cervicale, l'écartement des vertèbres, qui est en avant de 5 à 6 millimètres, n'est plus en arrière que de 2 à 3 millimètres; le canal vertébral apparaît sur certaines radiographies. Les apophyses transverses ne se voient pas dans cette position.

Quant aux articulations des vertèbres, elles peuvent être étudiées avec

les mouvements qu'elles permettent et nous en reparlerons plus tard au point de vue physiologique.

En dehors de la situation respective des vertèbres, on constate aussi sur l'écran les rapports qu'elles ont avec les autres organes, notamment avec le larynx. Les corps vertébraux sont à une distance variable de la partie postérieure du cricoïde, en raison des différences de courbure de la colonne. La radioscopie permet d'étudier sur le vivant les rapports en hauteur du larynx avec la colonne vertébrale, tandis que sans ce moyen il faut, pour faire cette constatation, rencontrer des cas chirurgicaux tout à fait spéciaux (1). D'après Luschka, Heitzmann, Henle, le larynx répond aux corps des quatrième et cinquième vertèbres ; pour Hencke, Demme, Gegenbaur et Tillaux, il correspond aux quatrième, cinquième et sixième vertèbres; enfin, Sappey, Testut, Scheier admettent le niveau de la cinquième et de la sixième. Nos recherches nous ont permis de constater que les cartilages aryténoïdes et le bord supérieur du thyroïde correspondent à la partie supérieure de la cinquième cervicale, le cartilage cricoïde à sa partie inférieure et à la sixième (2); ces résultats ont sur les recherches anatomiques l'avantage de pouvoir s'appuyer facilement sur un grand nombre de faits et de permettre d'examiner les organes tels qu'ils sont pendant la vie; ces rapports peuvent être modifiés, lorsque la mort a fait disparaître la tonicité musculaire.

Il est à regretter que les autres organes de la région ne puissent pas être examinés de la même façon.

§ 4. — **Examen des organes étudiés séparément.**

A. — Larynx.

Le larynx montre par les rayons de Röntgen son ossification ; cette étude est très précise lorsqu'on examine l'organe isolé de la région. Avant cette méthode, il fallait faire des coupes nombreuses et des préparations microscopiques.

Tous les observateurs ne sont pas arrivés à des résultats identiques. D'après Bichat et Henle, l'ossification commence de 40 à 50 ans chez l'homme et plus tard chez la femme ; pour Moritz Schmidt, elle se fait après 40 ans d'une façon variable ; pour Sappey, de 35 à 50 ans chez l'homme et de 70 à 80 ans chez la femme; pour Cruveilhier, à partir de 30 ans, sans qu'il y ait de rapport constant avec l'âge; pour Testut, de 25 à 30 ans et quelquefois plus tôt; d'après Chiewitz, enfin, elle débute de 20 à 22 ans.

(1) Scheier, Un cas de blessure de la colonne cervicale. *Archives internationales de laryngologie*, 1892, n° V.

(2) Mignon, L'examen anatomo-topographique et physiologique du larynx par la radioscopie. *Archives internationales de laryngologie*, 1901, n° 1, p. 30.

Scheier a demandé aux rayons de Röntgen de trancher la question et il a publié des résultats très intéressants (1) que nous avons cherché à vérifier et à compléter (2). Le larynx enlevé d'un sujet peut être examiné dans son ensemble ou après dissection et séparation de chacun des cartilages. Nous avons employé successivement ces deux moyens en nous servant de la radioscopie et surtout de la radiographie.

L'épreuve qu'on obtient lorsque le larynx est placé en position *sagittale* ressemble à l'image vue sur le vivant, mais elle est beaucoup plus précise. La forme des cartilages est indiquée par des ombres claires et les points ossifiés par des taches foncées, autour desquelles existe une sorte de réticulum indiquant l'envahissement de l'ossification. Au niveau des cordes

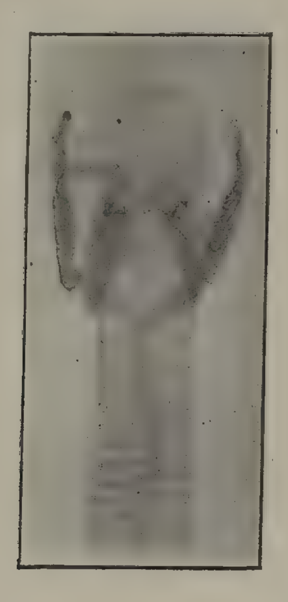


FIG. 335. — Larynx (position frontale, incidence postérieure).

vocales, si le cartilage n'est pas encore opacifié par le tissu spongieux, on distingue une bande grisâtre au-dessus de laquelle est un espace clair elliptique représentant le ventricule de Morgagni. Nous avons déjà parlé de cette disposition des taches à propos de l'examen sagittal sur le vivant, mais au lieu de se montrer exceptionnellement et d'une façon vague, elle est ici plus nette.

En plaçant le larynx en position *frontale* antérieure ou postérieure, on obtient une sorte de coupe transversale représentant l'épaisseur des faces du thyroïde; les aryténoïdes se distinguent, s'ils sont ossifiés, au-dessus des zones d'ossification du cricoïde; au centre est un espace clair, qui répond à la glotte et va en s'élargissant de haut en bas.

(1) SCHEIER, De l'ossification du larynx. *Archives internationales de laryngologie.* Paris, nov.-déc. 1898.

(2) MIGNON, Application de la radiographie à l'étude de l'ossification du larynx. *Bull. et Mém. de la Société anatom. de Paris*, décembre 1901, p. 674.

Dans cette projection, les taches de chaque cartilage ne sont pas toujours bien isolées ; aussi, pour suivre les progrès de l'ossification avec l'âge, est-il préférable de radiographier séparément les cartilages, après les avoir disséqués et débarrassés de tous les tissus qui les entourent. On obtient de cette façon des résultats très faciles à interpréter.

Cartilage thyroïde. — Il présente les premières traces de tissu osseux à partir de 18 à 19 ans, quelquefois même avant cet âge; il apparaît chez l'homme sous la forme d'un point placé près du bord postérieur, soit sur

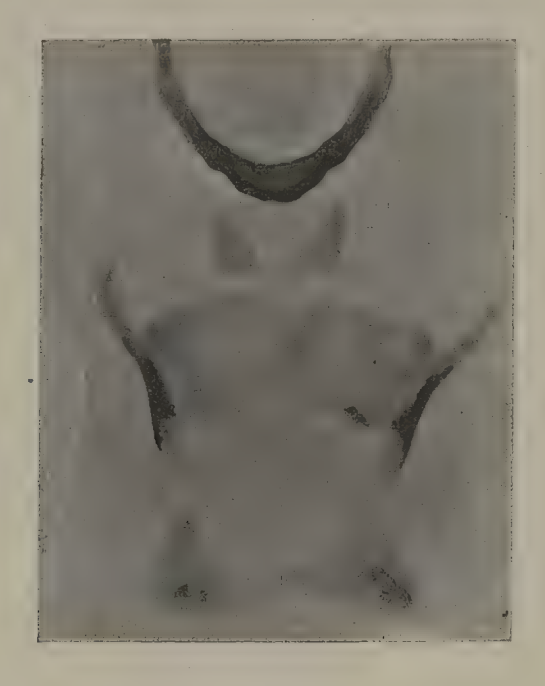


Fig. 336.

la corne inférieure, soit sur la corne supérieure. Chez la femme il se manifeste au même endroit, mais seulement à partir de 25 à 30 ans.

Les deux noyaux supérieur et inférieur vont l'un vers l'autre et, en se réunissant, forment ce que Testut décrit sous le nom de centre latéral d'ossification.

Du bord postérieur complètement ossifié, le tissu spongieux envahit de plus en plus le cartilage d'arrière en avant, en se portant surtout vers le bord inférieur. Puis, on remarque chez l'homme une étroite zone foncée, qui se développe au niveau du tubercule inférieur et se dirige en haut et en avant vers l'angle antérieur, où elle constitue le centre médian de Testut. Le bord inférieur du cartilage s'ossifie assez rapidement.

Par son extension en avant et en arrière, le tissu spongieux forme pour ainsi dire deux zones cartilagineuses transparentes, séparées par une bande

ossifiée opaque ; la zone antérieure correspond en partie au ventricule de Morgagni.

Le cartilage thyroïde peut s'ossifier complètement, comme Scheier l'a observé sur un larynx de 51 ans ; nous n'avons fait la même constatation que sur un larynx ayant plus de 70 ans.

Chez la femme, l'ossification commencée au même endroit ne suit pas une marche identique ; on ne constate jamais la présence de la languette osseuse qui part du tubercule inférieur vers la partie supérieure de l'angle. L'ossification se fait beaucoup plus lentement et presque exclusivement par envahissement de la zone postérieure. Cette remarque avait été faite anatomiquement par Chiewitz. Chez les eunuques l'ossification atteint très peu de développement (1).

On peut donc distinguer le larynx dans les deux sexes, rien que par l'ossification du cartilage thyroïde, si elle est assez avancée. Le cartilage triticé, qui surmonte les cornes supérieures, s'ossifie souvent de très bonne heure (2).

Cartilage cricoïde. — Le tissu spongieux se montre plus tard que sur le thyroïde, d'abord à la partie postéro-latérale et surtout au point d'articulation de la corne inférieure du thyroïde avec le cricoïde. L'ossification de la partie antérieure de l'anneau ne se fait que plus tard ; nous l'avons vue presque complète sur le larynx d'un vieillard, mais jamais sur un larynx de femme.

Cartilages aryténoïdes. — L'ossification apparaît après celle du cricoïde, en commençant par leur apophyse externe, ils sont envahis symétriquement et d'une façon progressive ; le tissu spongieux, augmentant avec l'âge, se porte de la base au sommet. L'ossification peut être complète à partir de 50 ans chez l'homme.

Les *cartilages de Santorini* s'ossifient aussi, mais très tardivement ; enfin, l'épiglotte présente, dans la vieillesse, des traces de calcification de chaque côté de sa ligne médiane.

Marche de l'ossification. — D'une façon générale, l'ossification est d'autant plus complète que l'âge est plus avancé, mais il y a de grandes différences suivant les individus. Les conclusions auxquelles nous sommes arrivé sont conformes aux résultats obtenus par Scheier ; cette constatation a son importance, car Meyer, en reconnaissant l'utilité des rayons de Röntgen pour cette étude, doutait que les résultats annoncés soient confirmés.

La radiographie nous a montré que tous les anatomistes plaçaient trop tard le début de l'ossification ; Chiewitz seul se rapproche de la vérité. On peut aussi en déduire que la marche de l'ossification n'est pas exactement conforme à la description de tous les auteurs.

D'après Sappey, la partie antérieure s'ossifie la première chez la plupart

(1) Les recherches de Taptas (de Constantinople) et de Scheier (de Berlin) ont confirmé par la radiographie cette constatation déjà faite par Gruber. *Soc. de laryngologie de Berlin*, 7 juin 1901.

(2) MIGNON, *Soc. anat. de Paris*, 1901, p. 675.

des individus, et le tissu spongieux se propage ensuite en arrière sur le bord inférieur ; mais il reconnaît qu'il se montre presque en même temps sur le bord postérieur. Son opinion n'est donc pas si différente que Scheier semble le croire, le reste de ses constatations se rapprochant beaucoup de ce que nous avons dit ; il faut, du reste, compter avec les variations individuelles, et la radiographie a l'avantage de permettre rapidement un grand nombre d'examens pour arriver à une moyenne.

Testut, d'accord avec les résultats radiographiques, reconnaît une certaine avance du centre latéral sur le centre médian. Virchow, Chiewitz ont fait de nombreuses préparations anatomiques pour l'étude de cette question ; elles présentent une concordance parfaite avec les résultats radiographiques, qui confirment notamment la différence établie par Chiewitz entre la marche de l'ossification chez l'homme et chez la femme. On ne voit pas de preuves de la relation absolue établie par Bergeat, puis par Segond entre les points d'ossification et les insertions musculaires. Quant à l'action des phénomènes inflammatoires de l'organe sur l'ossification, reconnue par Cruveilhier, Orth, Schmauss, Cornil (1), elle nous a semblé manifeste. La radiographie montre aussi clairement l'exactitude de la loi formulée par Nélaton : tandis que, dans la plupart des cartilages, l'ossification commence à la partie centrale, dans les cartilages du larynx, elle débute à la périphérie.

Disposition des travées du tissu spongieux. — Scheier a fait, dans le but de constater la disposition des travées du tissu spongieux, de très habiles préparations que nous avons pu voir ainsi que leurs radiographies (2). L'ossification du larynx se ferait d'après certaines lois, expliquant la régularité des lamelles du tissu osseux. Les préparations ostéologiques de Hermann von Meyer lui suggérèrent l'idée d'établir une analogie entre le parcours des travées osseuses et les courbes de pression, qui s'exercent dans un corps mou sous l'influence de certains poids.

Pour rechercher dans le larynx cette concordance, Scheier a employé des cartilages très ossifiés, soigneusement disséqués et décapés ; il en fit des lamelles dont les radiographies représentent les travées primitives et secondaires, les premières étant les plus nettes sur certains points, on remarque, en effet, la direction régulière des travées, qui correspondraient aux courbes de pression.

Ces travées forment deux systèmes et s'entrecroisent à angle droit. Les unes vont d'avant en arrière et de dehors en dedans, les autres vont de dedans en dehors et d'avant en arrière ; les premières partent normalement de la face externe et vont tangentiellement à la face interne ; les secondes partent normalement de la face interne et vont tangentiellement à la face

(1) Nous avons pu la constater par la radiographie, et faire ainsi les remarques sur lesquelles le professeur Cornil avait bien voulu attirer notre attention. Elles sont conformes aux résultats obtenus par les coupes histologiques.

(2) Scheier, Sur l'architecture du larynx ossifié. *Congrès international de médecine. Section de laryngologie*, Paris, 1900.

externe. La corticale se forme par la réunion de ces travées, ce qui expliquerait l'épaississement de la surface compacte dans l'angle antérieur du cartilage thyroïde, et son amincissement sur les faces latérales. La disposition des courbes s'adapte à la forme des cartilages et se retrouve sur chacun d'eux.

Cette ingénieuse description des travées, que l'on retrouve à la loupe sur certains points des préparations et des radiographies, est loin d'exister toujours dans son intégrité ; la disposition générale est souvent modifiée par la pression réciproque des tissus. Cette loi du développement peut exister, mais elle est forcément entravée par le développement inégal des cellules osseuses.

Vaisseaux du larynx. — Abandonnant l'étude de l'ossification, nous allons voir que les rayons de Röntgen peuvent encore être utiles au larynx

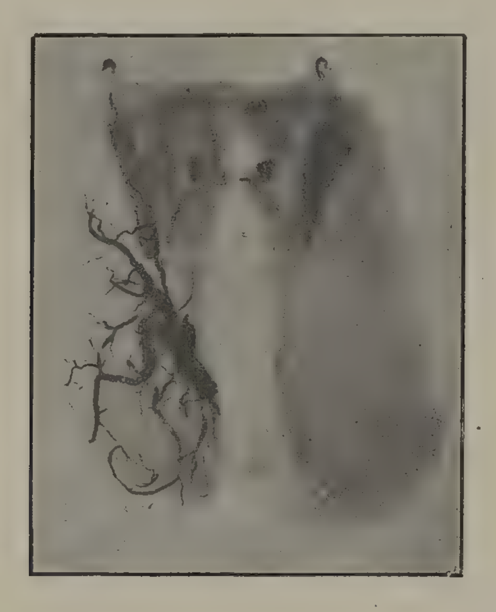


Fig. 337. — Vaisseau du larynx et de la trachée, position frontale. (Collection du Dr Destot.)

en permettant de rechercher les plus fines ramifications de ses vaisseaux et leurs anastomoses. Des préparations de Destot et de Scheier permettent de les suivre d'une façon assez exacte, bien qu'il existe des interruptions sur certains points des trajets représentés par la radiographie. On voit la thyroïdienne supérieure se détacher de la carotide externe et donner la laryngée supérieure, dont les fines branches s'anastomosent avec la laryngée inférieure. On découvre aussi quelques rameaux de la laryngée postérieure, partant du tronc de la thyroïdienne inférieure.

Pour obtenir ces radiographies, on injecte préalablement les vaisseaux avec une substance impénétrable (minium, vermillon, bismuth, solution de sublimé à 5 p. 100, onguent gris, teinture d'iode, etc.).

Ces recherches sont utiles pour montrer les fines ramifications que l'on ne peut disséquer, même lorsqu'elles ont été injectées; on a ainsi un moyen de les dessiner sans les voir.

B. — Trachée.

En l'examinant par les rayons de Röntgen, on voit la disposition de ses cartilages, et on constate leur ossification sur les sujets ayant au moins 50 à 60 ans. Le tissu spongieux se dépose d'abord en avant, et, se portant progressivement en arrière, il prend la forme d'un fer à cheval, dont les branches atteignent rarement une certaine longueur. On se rend compte de ces détails en projetant d'abord sur des plaques la trachée disséquée, puis en séparant ses anneaux que l'on radiographie isolément dans leur position normale.

Les radiographies de Destot et Bérard permettent de suivre les vaisseaux de la trachée injectés avec du nitrate d'argent, puis avec du sulfhydrate d'ammoniaque ; on distingue les rameaux trachéaux partant des anastomoses des thyroïdiennes ; ils se répandent autour des huit ou dix premiers anneaux de la trachée et envoient des rameaux anastomotiques aux artères bronchiques de l'aorte. Cette constatation a son importance en raison du rôle que Kocher attribue à ces artères dans la nutrition des parois trachéales ; leur oblitération a été jusqu'à entraîner le ramollissement atrophique de la trachée.

C. — Corps thyroïde.

Le corps thyroïde étant constitué par une substance à peu près homogène, donne, lorsqu'il est radiographié séparément, une ombre uniforme de teinte peu foncée.

Les rayons de Röntgen ont permis d'étudier ses vaisseaux avec précision après injection préalable par des substances opaques.

Destot et Bérard sont arrivés aux conclusions suivantes (1): chaque artère thyroïdienne présente avec les vaisseaux voisins un système d'anastomoses sus-cervicales et intra-parenchymateuses s'entrelaçant fréquemment entre elles pour constituer un réseau ; celui-ci traverse le lobe dans toute son épaisseur et réunit entre eux les deux troncs de la capsule ; de même, au niveau de l'isthme, des artères importantes franchissent la ligne médiane pour se continuer dans les troncs et les ramuscules du côté opposé.

Les lobes thyroïdiens, tout en présentant une certaine autonomie, sont enserrés dans un réseau complet ne permettant pas de distinguer de dé-

(1) Bérard, *Thérapeutique chirurgicale du goitre.* Paris, Masson, 1897, p. 79.

marcation entre les territoires desservis plus spécialement par chaque tronc.

Les anastomoses intraglandulaires ont pu aussi être mises en évidence par de simples mélanges à injections ordinaires, dans la zone sous-capsulaire; à l'intérieur de la glande, elles restent assez fines pour n'être remplies que par la masse d'injection de Teischmann, claire et poussée lentement; il devient alors très difficile de distinguer ce réseau sur les radiographies.

La circulation des artères thyroïdiennes n'est donc pas terminale, comme l'admettent Hyrtl et Anna Begonne. La radiographie confirme l'opinion contraire soutenue par Cruveilhier, Sappey, Barkow, G. Marchant.

D. — Vertèbres cervicales.

Le pharynx et l'œsophage ne présentant pas d'intérêt particulier n'ont pas donné lieu aux mêmes recherches. Il n'en est pas de même des vertèbres, dont l'ossification et la texture sont suivies dans leur ensemble avec autant de précision et plus de facilité que par des coupes anatomiques. Nous avons déjà mentionné les indications que peut fournir l'examen topographique de la colonne cervicale, sur laquelle on voit se produire l'ossification.

Pour suivre le développement du tissu osseux, la soudure des points primitifs et la marche envahissante des points complémentaires, il faut radiographier séparément et dans différentes positions les vertèbres de sujets dont l'âge permet encore de voir ces modifications. Les centres d'ossification se détachent sur les radiographies des tissus cartilagineux, jusqu'à ce que leur développement produise une opacité générale; on remarque des différences d'intensité entre les régions occupées par du tissu spongieux et celles qui présentent du tissu compact (lames et apophyses épineuses).

CHAPITRE III

EXAMEN PHYSIOLOGIQUE DE LA RÉGION CERVICALE

Les rayons X peuvent aussi enrichir ou préciser nos connaissances sur les mouvements des organes, c'est-à-dire sur une partie importante de leur physiologie. Sans doute, nous avons d'autres moyens d'exploration, mais souvent on doit se borner à la palpation de certains points de repère, qu'il est intéressant de pouvoir suivre dans la profondeur. C'est à la radioscopie et non à la radiographie qu'on aura recours, et, si elle est en général moins nette, elle a au moins l'avantage de nous montrer les variations incessantes des organes (1).

A. — Larynx et pharynx.

Respiration. — Elle présente peu de chose à étudier sur l'écran au niveau du cou; cependant les changements de position du diaphragme, si curieux à regarder par ce moyen, entraînent un léger déplacement du larynx par suite de la traction produite dans l'inspiration sur tout l'arbre respiratoire. Si l'organe est assez ossifié pour être nettement projeté, on le voit s'abaisser légèrement au moment des grandes inspirations et reprendre sa position primitive entre chaque mouvement inspiratoire. On remarque ainsi une légère différence de position du larynx dans la respiration costale et la respiration diaphragmatique. Les rapports réciproques des deux cartilages laryngés les plus visibles, le thyroïde et le cricoïde, restent sensiblement les mêmes.

L'épiglotte s'abaisse un peu pendant l'inspiration et s'élève pendant l'expiration, mais on est souvent gêné pour suivre ses mouvements par la tache sombre de l'os hyoïde qui la masque en partie. Il est certain cependant que, sur quelques sujets, on peut voir ses changements de position, mais non sur tous les individus; c'est pourquoi Treitel, dans une discussion à la

(1) Maurice Mignon (Nice), L'Examen physiologique du larynx par la radioscopie *Archives internationales de laryngologie*, 1901, n° 1, p. 33.

Société laryngologique de Berlin, dit n'avoir rien remarqué de particulier par les rayons X dans les mouvement de ce cartilage.

Voix. — Elle amène dans le larynx certaines modifications que l'on peut constater; on vérifie ainsi et on précise les connaissances que nous devons aux travaux de Garcia, Czermack, Brück et Merckel. Mais nous ne saurions trop répéter qu'il faut réunir, pour obtenir des résultats aussi difficiles, les meilleures conditions d'observation concernant le sujet, l'emploi des appareils et le milieu où l'on travaille. C'est pourquoi les intéressantes remarques de Scheier (1) sont aussi discutées; quant à nous, nous avons pu, dans quelques cas favorables, en vérifier l'exactitude. Nous ne parlerons ici que de la voix elle-même, en tant que fonction laryngée proprement dite, et nous laisserons à cet auteur le soin d'exposer dans un autre chapitre l'étude radioscopique de la parole et du chant, qui ont besoin d'autres organes pour s'accomplir.

L'épiglotte change de position suivant les sons émis par la glotte; pour U, elle est aussi basse que possible; pour O, elle s'élève un peu; pour A, un peu plus; pour E davantage et pour I encore plus. De U à I, dans l'ordre que nous avons indiqué, le larynx et l'os hyoïde s'élèvent et l'os se porte en avant.

Quand la hauteur du son augmente, le larynx s'élève et l'épiglotte se dresse; ils descendent avec le son. Dans la voix de tête ou de fausset, l'épiglotte est verticale et le larynx est fortement tiré vers l'os hyoïde.

Ces constatations confirment les recherches faites au moyen du laryngoscope par Moritz, Schmidt, Œrtel, etc.; elles ont sur elles l'avantage de ne pas gêner les mouvements des organes par la présence du miroir.

On remarque aussi les changements de position relatifs des cartilages thyroïde et cricoïde, à condition que leurs parties antérieures et latérales soient ossifiées, c'est-à-dire seulement sur les larynx d'hommes, ainsi que nous l'avons montré. La radioscopie est intéressante à employer pour étudier les imitateurs de sons et voir comment ils reproduisent les sons d'instruments variés.

Scheier a examiné à l'écran le polyphoniste Atkinson et dit avoir vu nettement les changements produits dans les voies respiratoires et digestives supérieures. Nous n'insisterons pas sur ce point, ces imitations étant produites beaucoup moins par des modifications du larynx que par celle de sa caisse de résonance.

On peut vérifier à l'écran comment se comporte le larynx pendant les actes physiologiques auxquels sont associés les mouvements respiratoires.

Effort. — Sous son influence, le larynx remonte légèrement et garde une fixité absolue, ce qui tient à l'obstruction de la glotte combinée avec l'action des muscles expirateurs.

(1) Scheier, l'Application des rayons de Röntgen pour la physiologie de la voix et de la parole. *Deutsche medicin. Wochen.* Berlin, 17 juin 1897. — L'application des rayons de Röntgen pour la physiologie du chant. *Allgem. medicin. Central Zeitung*, 1898, n° 37.

Baillement. — L'ombre hyoïdo-laryngée s'abaisse en raison de l'inspiration profnode et de l'abaissement du maxillaire inférieur, qui détend les muscles sus-hyoïdiens.

Hoquet, Sanglot. — Ce sont des actes inspiratoires ; il y a aussi un abaissement du larynx, mais d'une façon brusque et peu prolongée.

Rire. — On voit un déplacement analogue de la tache en sens inverse et plus ou moins répété ; il s'agit là en effet d'un phénomène expiratoire.

Eternuement. — On observe un soulèvement brusque de l'ombre, qui reprend aussitôt sa place primitive ; il est aussi facile de provoquer ce phénomène que le rire, en touchant la muqueuse nasale au moyen d'une solution irritante quelconque.

Toux. — Elle produit des secousses convulsives de l'arbre respiratoire pendant lesquelles l'ombre laryngée se soulève et bascule un peu en avant.

Déglutition. — Elle modifie aussi la situation du larynx ; pour l'observer d'une façon complète, il est indispensable de faire avaler au sujet placé derrière l'écran des substances opaques, comme le sous-nitrate de bismuth, associé, si l'on veut, à de la viande hachée. On peut ainsi voir en même temps les modifications laryngées et pharyngées.

Le bol alimentaire, préparé dans la bouche, se moule dans le pharynx, dont on constate la forme à l'état de contracture, et descend avec une très grande rapidité dans l'œsophage. En même temps, le larynx se dirige en haut et en avant, l'épiglotte s'abaisse en arrière, et le cricoïde se rapproche du bord inférieur du thyroïde ; aussitôt après, les organes reprennent leurs rapports respectifs ; on est étonné du déplacement considérable du cartilage cricoïde. Mendelssohn et Gutzmann ont étudié ainsi l'influence de la position du corps sur la déglutition et recherché dans quelles conditions elle se fait le plus facilement.

Vomissement. — Le larynx se soulève et se porte en avant ; bien qu'il ne soit pas très pratique de contrôler le fait par la radioscopie, nous l'avons fait plusieurs fois en provoquant le réflexe pharyngien du sujet examiné par l'introduction d'un instrument.

B. — Colonne cervicale

Nous avons dit plus haut que la colonne cervicale se voyait très nettement à l'écran chez les sujets maigres et peu musclés, et en particulier chez les femmes et les enfants, dont les tissus environnants sont moins épais. Par conséquent, on pourra dans ces conditions favorables suivre, dans le plan sagittal et dans le plan frontal, les mouvements des vertèbres. D'intéressantes recherches ont été faites sur cette question par Ménard et Guibal (1), mais ces auteurs n'ont eu recours qu'aux moyens anatomiques obligeant à

(1) Ménard et Guibal, Gibbosités expérimentales. *Association française pour l'avancement des sciences.* Boulogne, 1899, II, p. 672.

faire de longues et minutieuses préparations. Nous avons cherché, avec succès, à faire à peu près les mêmes constatations au moyen de la radioscopie sur un certain nombre de personnes.

Flexion. — Les cinq premiers corps vertébraux forment par leur face antérieure une ligne absolument rectiligne regardant directement en bas, lorsque l'orifice du canal vertébral est tourné exactement en avant. A partir du sixième corps cervical, on remarque une courbure que l'on ne peut suivre, en raison de la distance à laquelle on est obligé de mettre l'écran pour examiner au-dessous. Les cartilages intervertébraux ne se distinguent pas, car ils sont aussi traversés que les régions molles environnantes ; mais on voit entre les vertèbres l'espace clair qui leur correspond ; celui-ci indique par conséquent leur changement de forme sous l'influence de la compression, qui les tasse et les refoule vers la périphérie. Pendant que les corps vertébraux se rapprochent, les arcs postérieurs s'écartent.

Comme le font remarquer Ménard et Guibal, les mouvements des vertèbres sont comme ceux d'une série de leviers, dont le point d'appui est normalement au niveau des corps vertébraux ; la force tend à rapprocher les corps vertébraux et à éloigner les apophyses épineuses, maintenues par les ligaments jaunes et interépineux.

L'écartement des apophyses épineuses, qui, dans la flexion, n'est sensible au doigt qu'entre les deux dernières cervicales, se distingue entre chaque vertèbre par la radioscopie ; l'espace qui sépare les lames s'accroît du simple au triple.

D'après nos observations, nous admettons avec Malgaigne que le point de flexion maxima n'est pas toujours exactement au même endroit. Nous nous rangeons à cette opinon, plutôt qu'à celle de Weber ; il place le maximum de flexion entre la quatrième et la sixième, Chassaignac entre la cinquième et la sixième, Ménard et Guibal à partir de la sixième cervicale.

Extension. — Elle donne à la projection des corps vertébraux la forme d'un arc convexe en avant, dont la courbure normale augmente avec le degré d'extension. L'atlas devient presque vertical et les cinq vertèbres suivantes forment une courbe très accentuée ; l'espace clair séparant les corps prend la forme d'un coin, dont l'angle se dirige en arrière. La colonne cervicale augmente donc de longueur en avant, tandis qu'elle diminue dans la flexion. En arrière, il y a rapprochement des apophyses épineuses ; les lames se superposent et l'on ne voit plus d'espace clair entre elles. Si l'on fait reprendre au sujet (enfant de dix à douze ans de préférence) la position normale, on voit toutes ces modifications disparaître, en présentant tous les intermédiaires.

Inclinaison latérale. — Elle est plus difficile à suivre ; pour en étudier les mouvements, on fait l'examen dorsal d'un sujet maigre, en lui faisant incliner l'oreille progressivement le plus près possible de l'épaule correspondante. On voit l'extrémité des apophyses transverses se rapprocher de plus en plus du côté incliné et s'éloigner proportionnellement de l'autre.

Mais cette position ne permet pas d'apercevoir les vertèbres supérieures, comme dans l'examen sagittal ; en effet, lorsque la tête est droite et la face vers l'écran, la mâchoire inférieure masque les premières vertèbres. Si la tête est relevée, on évite le maxillaire, mais on augmente la projection de l'occipital, qui joue à son tour le rôle d'écran. Enfin la rotation et la torsion des vertèbres sont visibles en suivant les changements de position de leurs apophyses.

Cette manière d'observer permet en peu de temps d'examiner sans de longues préparations un grand nombre d'individus ; elle a l'avantage de montrer sur le vivant les mouvements des parties constituantes de la colonne cervicale, et elle nous a amené à reconnaître que, dans l'accomplissement de ces fonctions physiologiques, il y a, suivant les individus, des variantes assez grandes.

CHAPITRE IV

EXAMEN PATHOLOGIQUE DE LA RÉGION CERVICALE

§ 1. — Examen des corps étrangers.

Avant d'entrer dans le domaine pathologique, nous devons parler de la recherche des corps étrangers de la région cervicale. Mais cette question ayant en partie été déjà traitée dans un chapitre général (p. 675), nous serons bref pour éviter des répétitions. Cependant comme cet article concerne des organes nécessitant des méthodes spéciales d'exploration, il est indispensable que nous donnions quelques indications concernant la technique à employer et le diagnostic différentiel entre certains corps étrangers et quelques affections pathologiques ; les remarques suivantes s'adressent donc particulièrement aux laryngologistes.

On doit dans cet examen tenir compte à la fois des indications relatives à l'exploration des organes de la région cervicale, et de celles qui ont été données au sujet des corps étrangers en général.

Pour déterminer dans quel organe le corps étranger s'est localisé et à quel niveau, il est particulièrement utile de faire exécuter devant l'écran les mouvements physiologiques de ces organes ; il y a lieu aussi de combiner l'examen avec les autres méthodes d'exploration (stylets, miroirs laryngoscopiques, sondes, etc.).

Dans cette région, le corps étranger peut avoir pénétré par les voies naturelles (bouche ou nez) et résider dans les cavités des organes (larynx, pharynx) ; ou bien il a pénétré par effraction à travers la peau ou la paroi interne des organes et s'est logé à l'intérieur même des tissus (balles, aiguilles).

A. — Corps étrangers introduits par les voies naturelles.

Corps étrangers des voies respiratoires. — Leur variété est très grande, ainsi qu'on peut le constater par la classifiaction pré-

sentée dans un chapitre précédent (p. 684). Suivant la substance qui les constitue, et suivant leur siège, ils sont plus ou moins faciles à découvrir.

Corps étrangers du larynx. — L'examen laryngoscopique ne permet pas toujours de voir un corps étranger, soit parce que le sujet a un réflexe exagéré, soit parce que l'objet est placé dans les ventricules ou sous les cordes vocales. L'exploration radioscopique doit être faite surtout dans la position sagittale, en plaçant le rayon normal au niveau du larynx et en appliquant un petit écran flexible sur le cou. Si la substance n'est pas très opaque, elle peut passer inaperçue, surtout si le larynx est très ossifié ; chez l'enfant, au contraire, la transparence étant très grande, permet de distinguer facilement les corps de faible opacité (dans un cas signalé par Bergonié, il s'agissait d'un morceau de sucre). Lorsqu'on est en présence d'un corps métallique, on peut le distinguer quelquefois dans les deux positions sagittale et frontale, ce qui permet de le localiser avec plus de précision (Walker Downie put ainsi déceler la position d'une épingle). Pendant l'examen, on fera exécuter au sujet des mouvements de déglutition, afin de reconnaître si le corps étranger suit les mouvements du larynx ou de le distinguer d'opacités dues à des altérations pathologiques (tumeurs, ganglions).

On peut ainsi par une technique bien conduite, comme l'a montré Bergonié (1), découvrir dans le larynx par la radioscopie des corps étrangers pouvant paraître a priori trop peu opaques ; il faut toujours avoir soin de graduer l'intensité et la puissance de pénétration des rayons selon l'objet à traverser.

Corps étrangers de la trachée. — Il est rare que l'examen laryngoscopique permette de voir une grande étendue de la trachée, bien que dans quelques cas exceptionnels on puisse apercevoir la bifurcation des bronches. La radioscopie est donc particulièrement indiquée, si l'on a lieu de supposer la présence d'un corps étranger ; et comme celui-ci est presque toujours mobile, il convient de préférer à la radiographie la simple radioscopie, qui doit être faite latéralement pour éviter l'ombre de la colonne vertébrale.

Mais dans cette situation on ne peut explorer que la portion cervicale de la trachée ; sa portion thoracique, dont nous n'avons pas à parler dans ce chapitre, nécessite l'emploi de l'examen latéral oblique [Holzknecht, Mignon (2)], aussi bien pour la recherche d'un corps étranger que pour les observations pathologiques.

Corps étrangers des bronches. — Nous ne ferons que les mentionner et renvoyons aux chapitres concernant les corps étrangers en général et l'exploration du thorax. Cependant, pendant leur extraction,

(1) Bergonié, *Archives d'électricité médicale*, 15 janvier 1901, p. 42.
(2) Mignon, *Congrès internat. de radiologie*. Paris, 31 juillet 1900.

on aura à suivre leur marche ascendante dans la région cervicale [obser-

Fig. 338.

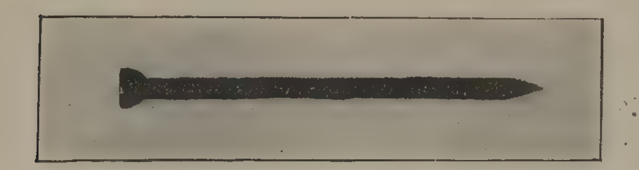


Fig. 339. — Clou, grandeur naturelle (Cliché de Garel.)

vation de Garel (1)], quand ils auront quitté les bronches pour la trachée.

(1) Garel, *Lyon médical*, n° 1, 1901.

Corps étrangers des voies digestives. Pharynx et Œsophage. — Ainsi qu'il a été dit dans un chapitre précédent (p. 675), ils ont deux origines : alimentaire ou non alimentaire ; on voit par la classification indiquée ci-dessus qu'ils sont de nature très variée. Lorsqu'un objet est engagé dans les voies digestives supérieures, le miroir montre bien peu de chose, et la sonde est tout à fait insuffisante ; la radioscopie est donc particulièrement utile, d'abord pour faire le diagnostic de localisation, ensuite pour guider la manœuvre de la pince à œsophage ou du panier de Græfe. L'intervention étant toujours plus simple au début, l'exploration radioscopique doit être précoce ; elle a sur les autres méthodes l'avantage d'être plus précise et de ne pas provoquer des déplacements souvent regrettables du corps étranger.

Dans le plus grand nombre des observations publiées, il s'agit de pièces de monnaie avalées par des enfants ; la gravité des accidents et leur rapidité est très variable suivant la localisation et les dimensions de l'objet. En dehors de la douleur, plus ou moins vive, il y a généralement à la fois des troubles de déglutition et de respiration. Un grand nombre de faits montre la supériorité de l'examen radioscopique sur les autres méthodes [Hochenegg, Péan, Jalaguier, Sébileau et Lombard (1)]. Cet examen sera fait successivement en position sagittale et en position frontale ; comme pour l'exploration des voies aériennes, on fera exécuter au sujet des mouvements de déglutition, mais sans trop les renouveler si l'on s'aperçoit que le corps étranger continue à pénétrer plus profondément. Lorsqu'on observe autour de l'objet une zone plus sombre que les autres tissus, celle-ci indique un état inflammatoire qui doit engager à être particulièrement prudent pendant les manœuvres d'extraction.

B. — Corps étrangers ayant pénétré avec effraction.

Cette catégorie répond aux projectiles ou objets quelconques, qui sont introduits dans l'intérieur même des tissus par un trajet anormal. En général, ils pénètrent par la voie externe (balles), mais ils peuvent aussi, surtout dans cette région, pénétrer par la voie interne : une aiguille, par exemple, sera avalée et pénétrera ensuite à travers la paroi du pharynx dans l'intérieur des tissus. Lorsqu'il s'agit de balles, elles se voient très facilement au milieu des tissus mous de la région cervicale (cas de Boisson et Marcus) ; en peut encore les découvrir, mais moins facilement lorsqu'elles pénètrent dans l'intérieur des vertèbres (cas de Hannecart). Cette catégorie de corps étrangers étant recherchée et localisée par les méthodes ordinaires, nous n'avons pas à insister sur ce sujet et renvoyons au chapitre des corps étrangers en général.

(1) Sébileau et Lombard, *Annales des maladies de l'oreille*, n° 1, 1901. — Sébileau, *Annales des maladies de l'oreille*, n° 1, 1903.

§ 2. — Examen pathologique médico-chirurgical.

Nous passerons en revue successivement les principales affections des organes de la région susceptibles de bénéficier de l'emploi des rayons X.

A. — Os hyoïde.

L'aspect normal de l'os hyoïde nous est connu, par la radioscopie et la radiographie ; ces deux moyens pourront donc être employés dans les cas où l'on recherchera une fracture de l'os. Avec raison, Macintyre a beaucoup préconisé ce moyen d'investigation ; si l'une des grandes cornes est fracturée, on verra la solution de continuité et le déplacement des fragments.

Il faut pratiquer l'examen bilatéral ; bien que les images des deux grandes cornes se confondent lorsqu'elles se trouvent sur la ligne d'incidence normale, la moitié de l'os en rapport avec l'écran ou la plaque l'emporte de beaucoup en netteté. Si la corne saine est la plus rapprochée, elle masque la fraction siégeant de l'autre côté, à moins que le fragment très déplacé ne se confonde pas avec elle. On pourra aussi modifier l'incidence des rayons, afin d'obtenir à la fois les images des deuxmoitiés, qui forment un angle plus ou moins ouvert suivant le déplacement ; ce moyen ne vaut pas la comparaison de deux épreuves radiographiques droite et gauche, en raison de la déformation qu'il produit et de la différence de netteté produite par les distances variées.

Quant à la distinction entre la fracture et la luxation de la grande corne, elle pourra se faire, si la radiographie est bien nette, en regardant l'aspect plus ou moins régulier de la partie antérieure du fragment, mais aussi en tenant compte du degré d'ossification. La fracture des petites cornes n'a jamais été notée ; il est peu probable qu'on ait à en examiner; elle serait du reste plus difficile à voir en raison de la petitesse des fragments et ne pourrait se présenter que sur des sujets dont l'ossification serait très avancée. L'examen radioscopique de l'os hyoïde étant moins net, s'il y a gonflement des tissus, il devra être aussi précoce que possible.

B. — Larynx.

Fractures. — Elles sont vues par la radioscopie d'autant plus nettement que les cartilages sont plus ossifiés ; bien qu'elles soient plus fréquentes chez les vieillards, elles ne dépendent pas tant de l'âge réel de l'individu que de l'état de son ossification, et nous savons que ce rapport n'est pas toujours constant.

Scheier (1) a eu l'occasion de constater une fracture du cartilage thyroïde ; si, comme c'était le cas, elle atteint la corne supérieure, elle est décelée assez aisément lorsque le sujet se présente dans de bonnes conditions ; mais, si elle siège dans l'angle antérieur, on constate seulement le déplacement des fragments, s'il en existe, l'examen n'étant possible que de profil.

Dans cette recherche, il ne faudra pas perdre de vue le rayon d'incidence normale, dont la position vicieuse suffirait à induire en erreur.

Si les cartilages sont peu ossifiés, une fracture est impossible à voir par transparence. Une fracture du cricoïde n'est constatée que si le cartilage est très ossifié, et surtout si elle s'est produite latéralement par pression sur la colonne vertébrale. La fracture exceptionnelle des aryténoïdes passe inaperçue, même dans les meilleures conditions.

Les fractures de la trachée frappent des cartilages trop petits et trop peu ossifiés pour être constatées.

Blessures. — Dans les blessures du larynx, non seulement on regarde les cartilages, mais aussi la situation d'un stylet métallique introduit dans les tissus ; si le stylet semble dangereux, on le remplace par une sonde molle contenant de la grenaille de plomb ou du mercure, que sa souplesse rend préférable sans lui enlever son opacité. On voit ainsi devant l'écran la profondeur de la plaie, sa direction, son trajet.

Dans un cas de blessure du larynx, Treitel observa une tache sombre tout près de la partie antérieure du cartilage thyroïde, mais il n'en tira pas de conclusions au point de vue diagnostic ; l'interprétation des images est difficile et elle doit s'aider des autres moyens d'exploration.

Herzfeld (2) ne reconnaît pas aux rayons X la même importance que Scheier pour l'examen du larynx.

Avec Meyer (3) nous admettons volontiers que la radiographie de l'organe ne soit pas facile à obtenir en raison de ses mouvements, et nous avons déjà fait cette constatation au sujet de l'anatomie normale de la région ; mais la radioscopie n'est pas passible de la même objection, puisqu'elle est au contraire favorisée par les mouvements. Au point de vue des fractures, dont nous venons de parler, elle donne certainement, au moins chez quelques sujets, de très utiles indications.

Inflammations. — Les inflammations diverses qui se localisent sur le larynx diminuent la netteté de ses cartilages.

Les périchondrites entraînent une modification d'aspect plus manifeste que les simples altérations de la muqueuse ; inutile de dire que les lésions superficielles de celle-ci ne peuvent avoir aucune action sur la transparence.

(1) Scheier, *Arch. internat. de laryngologie*, 1896, p. 598.
(2) Herzfeld, *Société de laryngologie de Berlin*, 3 déc. 1897.
(3) Meyer, *Annales des maladies de l'oreille et du larynx*, mars 1899, p. 310.

Tuberculose. — La tuberculose du larynx ne modifie l'aspect normal que dans certaines conditions. La forme catarrhale ne présente rien de particulier, les tissus n'étant pas assez épaissis. La forme infiltro-tuberculeuse diffuse, particulièrement étudiée par Gouguenheim et Tissier (1), donne à l'ensemble du larynx un peu plus d'opacité, en même temps que moins de netteté dans les détails de l'image ; plus l'infiltration est considérable, plus les contours de l'organe deviennent diffus.

Les tumeurs tuberculeuses du larynx [Ruault (2)], permettent mieux que les autres lésions de constater une modification, à la condition que les cartilages ne soient pas trop ossifiés; s'il existe une production de tissu circonscrite et volumineuse au niveau d'une bande ventriculaire, l'image latérale présente une teinte un peu plus foncée à ce niveau, visible en général seulement du côté malade. Ces tissus n'étant pas très opaques ne pourraient pas se distinguer, si l'écran n'était pas très rapproché de la lésion.

D'une façon générale, comme nous le faisions remarquer en 1898, les zones claires du larynx sont, ainsi que dans les poumons, opacifiées plus ou moins par l'infiltration tuberculeuse [Mignon (3)].

Syphilis. — Elle ne se manifeste sur l'ombre laryngée que dans ses accidents tertiaires, lorsqu'elle revêt la forme de gommes assez volumineuses ; la lésion est surtout appréciable lorsqu'elle se projette en dehors de l'image de l'organe, c'est-à-dire lorsqu'elle siège sur les faces de l'épiglotte, le sommet ou la face postérieure des aryténoïdes ; nous devons dire que nous n'avons pu en observer que peu de cas, répondant précisément à cette localisation.

Tumeurs. — Nous arrivons maintenant à la question particulièrement intéressante de l'examen des tumeurs laryngées. Semon fonda sur la nouvelle découverte de grandes espérances et pensa qu'on pourrait ainsi différencier au début les tumeurs bénignes des tumeurs malignes. Mais cette hypothèse purement théorique ne semble pas confirmée par les faits. Scheier (4), d'après les recherches qu'il a pu faire jusqu'ici, ne partage pas cette opinion. Meyer (5) manifeste encore moins d'enthousiasme.

Avant de conclure, nous allons dire les modifications d'aspect qu'entraîne la présence des différentes tumeurs du larynx.

Parmi les tumeurs bénignes, les *papillomes* sont en général d'un trop petit volume et d'une consistance trop faible pour donner une ombre appréciable, indépendamment de toute question d'interprétation.

Les *kystes* (Moure, Garel) donneront un résultat différent d'après leur situation intra ou extra-laryngée et suivant le larynx qui les contient.

Nous avons pu rechercher avec succès, bien que difficilement, un kyste

(1) Gouguenheim et Tissier, *Phtisie laryngée*, p. 174.
(2) Ruault, *Traité de médecine*, 2e éd., t. VI, p. 215.
(3) Mignon, *Congrès pour l'étude de la tuberculose*. Paris, 1898, p. 126.
(4) Scheier, *Bibliothek der gesammten medicinischen Wissenschaften*, 1898, p. 579.
(5) Meyer, *Annales des maladies de l'oreille et du larynx*, mars 1899, p. 310.

volumineux et longuement pédiculé (1). Le malade était atteint de dysphonie très accentuée,accompagnée d'un bruit de drapeau, survenant à chaque mouvement respiratoire.

A l'examen laryngoscopique, on voyait apparaître au-dessus des cordes vocales un kyste polypoïde présentant le volume d'une petite noisette, qui plongeait sous les cordes vocales à l'inspiration, tout en restant visible par sa partie la plus saillante ; le volume de la tumeur l'empêchait de franchir la glotte, lorsque l'inspiration n'était pas assez forte, et le malade en éprouvait une gêne passagère.

L'examen radioscopique nous montra l'aspect du larynx à la période moyenne de l'ossification ; au niveau de la zone claire glottique, on voyait une tache peu intense, qui se distinguait surtout par des déplacements à chaque mouvement respiratoire ; pendant l'expiration, elle se portait de bas en haut, comme par un mouvement de bascule.

Après l'ablation du kyste, un nouvel examen nous permit de constater la disparition de la tache mobile vue précédemment. En mentionnant cette observation, nous ne voulons pas dire que tous les kystes donneront une tache correspondante appréciable. Garel a examiné un cas avec Destot (2), sans succès, évidemment parce que les conditions étaient différentes.

Les *fibromes* ne sont de même visibles qu'à la condition d'être volumineux, et surtout d'être implantés de telle sorte que leur ombre se projette dans une zone claire. En examinant à l'écran une tumeur fibreuse qui s'étendait de l'amygdale à l'épiglotte, nous avons vu du côté malade une tache grise, à contours assez nets, surtout en arrière, s'étendant depuis le bord inférieur du maxillaire jusqu'à l'épiglotte ; cette tache était plus foncée au niveau de sa partie inférieure, où la tumeur présentait, en effet, son maximum d'épaisseur ; elle était séparée en arrière de la tache vertébrale par une zone claire répondant à la partie postérieure du pharynx ; l'ablation de la tumeur ayant été faite par morcellement, on a pu constater la disparition de cette zone sombre.

Les tumeurs malignes augmentent notablement l'opacité des tissus. Qu'il s'agisse de *sarcome* ou d'*épithéliome*, l'opacité est d'autant plus nette que la tumeur est plus volumineuse. Est-elle primitive ou secondaire, peu importe ; mais sa localisation intrinsèque ou extrinsèque est à considérer au point de vue radioscopique. Comme elle frappe généralement le larynx à une période avancée de l'ossification, on voit mieux son contour, si elle est située à la périphérie de l'organe.

Nous pouvons en citer un exemple frappant : il s'agissait d'un malade de quatre-vingts ans, que nous avons examiné, présentant les symptômes cliniques et les signes laryngoscopiques d'un néoplasme. Le miroir indiquait sur les aryténoïdes la présence d'une tumeur volumineuse comme

(1) MIGNON, *loc. cit.*, p. 102.
(2) DESTOT, Communication écrite.

une noix, non ulcérée, faisant saillie surtout à gauche et en arrière ; l'épiglotte était un peu infiltrée, ainsi que les bandes ventriculaires.

A l'écran, le larynx présentait une netteté remarquable tenant à l'âge avancé et à l'amaigrissement du sujet ; au-dessus des aryténoïdes, on remarquait une tache plus claire, mais à contours nets, coïncidant absolument avec la forme et la position de la tumeur vue au laryngoscope ; elle formait à l'image laryngée une sorte de casque porté en arrière ; l'ensemble de cette masse suivait les mouvements de la déglutition. Sans autre exploration, on peut, dans les cas semblables, reconnaître la présence d'une lésion volumineuse implantée sur le larynx. Nous avons ainsi diagnostiqué l'envahissement de cet organe dans des cas de néoplasmes secondaires, où les lésions plus anciennes de la base de la langue et du plancher de la bouche empêchaient l'examen laryngoscopique.

Il nous est maintenant permis de discuter sur des faits l'hypothèse de Semon. Alexander (1) dit que, dans les cas douteux, on devra, pour la recherche des tumeurs du larynx, compléter les autres moyens d'examen par la radioscopie, et il cite un cas où elle rendit service.

Lévy-Dorn (2) est d'avis que l'examen montre bien l'ossification des cartilages, mais moins la présence d'une tumeur; une zone calcifiée pourrait être prise pour un néoplasme.

L'interprétation est, en effet, souvent délicate, ici comme dans beaucoup d'autres examens radioscopiques. Pour qu'une tumeur du larynx soit opaque, il faut d'abord qu'elle ait un volume suffisant ; plus son tissu est dense et résistant, plus il produit d'opacité. Malgré ces conditions, elle ne peut être visible que si elle n'est pas masquée par une zone ossifiée des cartilages ; en tenant compte de la tache suspecte et de l'aspect de l'ossification, on arrivera à une interprétation exacte. Nous ne pouvons malheureusement rien ajouter qui permette, comme on l'espérait, de différencier exactement les tumeurs malignes des tumeurs bénignes.

Arthrites. — Dans les cas d'arthrites laryngées [Escat (3)] on constate à l'écran l'impotence fonctionnelle due à l'arthrite crico-thyroïdienne ; d'après ce que nous avons dit de l'examen normal du larynx, on comprend les difficultés qu'il y ait à observer par la radioscopie les modifications de mouvements dues aux arthrites crico-aryténoïdiennes, qu'il faudrait observer dans le plan antéro-postérieur. La netteté des mouvements est moins précise, quand les cartilages sont entourés d'une infiltration considérable, due à la cause de l'arthrite.

Paralysies. — L'étude des troubles moteurs du larynx nous amène à parler des parésies et des paralysies des cordes vocales, et par conséquent à rechercher leur étiologie par la radioscopie. La cause ne réside pas le plus

(1) Alexander, *Archiv für Laryngologie. Frankel,* t. X, p. 249.
(2) Lévy-Dorn, Communication écrite.
(3) Escat, Les arthrites laryngées. *XIIIe Congrès international de médecine. Section de laryngologie.* Paris, 1900.

souvent dans la région cervicale, mais dans le médiastin. Beaucoup d'observations intéressantes ont été faites sur les organes de cette région après l'impulsion donnée par le professeur Bouchard, Béclère, Oudin et Barthélemy, le professeur Bénédikt, etc. Nous sommes obligé, au point de vue laryngologique, de montrer l'utilité de la radioscopie dans ce diagnostic étiologique.

Rosenberg (1) cite deux cas de paralysie des cordes vocales, l'une du côté droit, l'autre du côté gauche, dans lesquelles la radioscopie et la radiographie ont prouvé qu'il y avait une tumeur du médiastin ; l'un de ces malades présentait des signes cliniques tout à fait incomplets.

Scheier, Kirstein, Moritz-Schmidt, Meyer insistent sur l'utilité des rayons X pour expliquer les paralysies récurrentielles avec précision.

Eulenstein (2), Lévy-Dorn (3) soutiennent la même opinion, en l'appuyant aussi sur des faits très démonstratifs.

Chez un malade observé par Grünmach (4), il y avait à la fois tumeur maligne du médiastin et anévrisme de l'aorte ; la première de ces affections avait seule été diagnostiquée par la clinique, la seconde le fut par la radiographie.

Nous avons nous-même appliqué les rayons X à ces recherches dès le début de la découverte. Un de nos malades, présentant une hémiplégie laryngée totale gauche avec contracture de l'ary-aryténoïdien, nous permit de constater un agrandissement important de l'ombre aortique ; à la partie supéro-externe, on voyait une expansion très exagérée de l'aorte, dont la teinte était plus foncée en arrière. Un autre avait seulement une parésie légère de la corde gauche ; la radioscopie nous montra une tache énorme de forme ronde, animée de battements, placée au-dessus de l'ombre cardiaque ; la radiographie faite par la face postérieure est encore plus précise (5). Nous citons ces deux cas de préférence en raison de la grande différence des symptômes laryngés. Mais il ne s'agit pas toujours d'anévrismes, et la radioscopie permet à la fois de voir la lésion et aussi d'en déterminer le volume et la localisation.

Si l'on suppose que le médiastin est en cause dans la pathogénie des troubles laryngés, c'est donc aux rayons de Röntgen qu'on demandera de préciser les données fournies par la clinique. Le médiastin étant une région particulièrement difficile à explorer, en raison de l'ombre sterno-vertébrale qui masque sa partie médiane, on devra l'étudier d'une façon très complète ; il est nécessaire de faire d'abord l'examen antérieur et l'examen postérieur pour voir de quel côté les opacités cherchées ont le plus d'intensité ; on y

(1) Rosenberg, Importance de l'examen aux rayons X des tumeurs intra-thoraciques pour les laryngologistes. *Archiv für Laryngologie*, vol. VIII, I, p. 1.

(2) Grünmach, *Wiener Wochenschr.* 4 sept. 1897.

(3) Eulenstein, *Berliner klin. Wochens.*, 29 mai 1899.

(4) Lévy-Dorn, *Deutsche medicin. Wochens.*, 1898, p. 802, et 1899, p. 194.

(5) Mignon, *loc. cit.*, p. 95 et 96, pl. II, et *Bulletin de la Société anatomique de Paris*, 11 mars 1898.

joindra l'examen latéral oblique, dont les avantages ont été démontrés [Holzknecht (1), Mignon (2)]. Les anévrismes se montrent animés de mouvements de tous côtés, leur forme est régulière et ronde en général; les tumeurs solides ne présentent pas de battements, à moins qu'elles ne les reçoivent de l'aorte et par conséquent dans une seule direction; leur forme est irrégulière et très variable suivant l'organe atteint et la nature de l'affection.

Nous n'avons pas à insister davantage sur l'aspect normal ou pathologique dans les différents cas, cette région ayant déjà été traitée en détail. Qu'il nous suffise d'avoir prouvé par quelques faits l'importance de cette exploration dans la recherche étiologique de certains troubles laryngés.

Lorsque, en l'absence de toute opacité suspecte, le médiastin ne peut être incriminé, on recherche ailleurs l'origine des paralysies; elle peut, du reste, être très variée, comme en témoignent de nombreux travaux (Krishaber, Gouguenheim, Lubet-Barbon et Dutil, Garel, Masséi, Cartaz, Jeanselme et Lermoyez, etc.). Si, au lieu de paralysies, il existe des spasmes du larynx symptomatiques ou d'origine névropathique, la radioscopie ne présente pas un grand intérêt; pendant les phénomènes de tirage, on constate, surtout chez l'adulte, les mouvements d'élévation et d'abaissement du larynx, produit par les efforts inspiratoires; on apprécie aussi certains déplacements des cartilages. Au point de vue étiologique, on ne découvre que les corps étrangers, et, avec moins de précision, les tumeurs volumineuses.

C. — Trachée.

La trachée, dont nous avons décrit l'aspect normal au niveau du cou, subit des modifications appréciables par la radioscopie; son envahissement par une tumeur donne de l'opacité à la bande claire qui indique son diamètre antéro-postérieur.

Grünmach (3) a observé à l'écran une sténose de la trachée, où l'on distinguait la diminution du calibre. Il cite aussi trois cas de tuberculose, dans lesquels le conduit aérien était très rétréci; au lieu d'avoir le diamètre du doigt, il présentait à l'examen sagittal un aspect presque filiforme, il était comprimé et aplati comme un fourreau de sabre.

Les fistules des voies aériennes acquises sont utilement suivies par la radioscopie, en ayant soin de les explorer avec une sonde molle remplie de grenaille de plomb, de mercure ou d'une poudre métallique.

Destot a eu l'occasion d'examiner des fistules branchiales congénitales, dont nous avons parlé à propos des vices de développement.

(1) Holzknecht, *Wiener medicin. Wochenschr.*, 1900.
(2) Mignon, *Congrès international de radiologie.* Paris, 1900.
(3) Grünmach. *Therapeutische Monatsch*, 1897, p. 1.

Dans ces recherches, les crayons d'iodoforme ont l'avantage de faire en même temps l'antisepsie du trajet ; mais, tout en étant assez opaques, ils donnent une image moins foncée que les poudres métalliques ou l'onguent gris.

Si la trachée est entourée d'une zone inflammatoire, on constate une diminution de transparence à son niveau et autour d'elle. Macintyre en a observé un cas très intéressant : l'examen à l'écran, rendu difficile par le mauvais état du malade, montrait des modifications de la transparence normale autour de la trachée ; l'enflure s'étendait depuis le cou jusqu'à la troisième pièce du sternum ; l'examen du larynx ne donnait rien ; en présence de cette compression de la trachée, Macintyre et Clark firent la trachéotomie, mais la respiration s'arrêta après introduction de la canule ; Clark, disséquant la partie inférieure du cou, mit en liberté avec une sonde une collection purulente du médiastin, et la respiration se rétablit après évacuation du foyer. L'intervention a pu être guidée par la radioscopie

Les tumeurs gazeuses du cou, laryngocèles, trachéocèles produisent un effet inverse comparable à celui de l'emphysème ; ainsi, une augmentation de volume du cou plus claire que les tissus normaux ne peut être produite que par la pénétration de l'air, de même que la dilatation des alvéoles augmente la transparence en raréfiant le parenchyme.

D. — Corps thyroïde.

Nous avons vu déjà que normalement cet organe est à peu près invisible ; sur quelques radiographies sagittales seulement, une ombre légère masque à son niveau la zone claire de la trachée.

La congestion ou l'inflammation de l'organe le rendant plus opaque, lui donnent un peu plus de netteté.

La tuberculose et la syphilis ne semblent pas devoir donner des foyers inflammatoires assez considérables pour que l'écran les indique ; mais l'expérience manque pour permettre de conclure avec exactitude.

Les tumeurs du corps thyroïde par leur volume modifient l'aspect de la région (1). S'il s'agit d'un goitre, l'opacité subit des modifications selon la densité du tissu qui le compose ; mais, en raison de l'influence des parties molles environnantes, nous croyons impossible d'établir une différence entre les goitres parenchymateux, colloïde, fibreux, kystique, vasculaire ou amyloïde ; il en est autrement des goitres calcifiés, qui pourront présenter des zones plus sombres correspondant aux dépôts formés dans les tissus.

Le goitre exopthalmique, n'étant pas composé d'un tissu particulière-

(1) Garel, La toux de compression. *Annales des maladies de l'oreille, du larynx*, mars 1902.— Un examen radioscopique fait par Destot permit de découvrir l'existence d'un gros goitre plongeant.

ment dense, ne présente pas au point de vue qui nous occupe de caractères spéciaux. Les noyaux d'épithéliome ou de carcinome primitifs ou secondaires ne se reconnaissent pas plus que les néoplasmes du larynx ; on devra cependant remarquer avec soin si l'aspect est identique des deux côtés droit et gauche.

Quant aux déformations trachéales, elles sont masquées par la superposition des tissus, moins perméables que le conduit respiratoire ; nous nous rangeons tout à fait à l'avis de Bérard (1) : même en admettant que les contours des anneaux cartilagineux soient nets, l'opacité des tissus environnants les ferait disparaître.

Si la tumeur très volumineuse a entraîné un déplacement de l'os hyoïde, on le constate à l'écran ; le refoulement du larynx se reconnaît surtout si l'ossification est très avancée. Enfin, s'il y a retentissement sur la colonne cervicale, comme on l'a signalé quelquefois, le changement de position des vertèbres sera appréciable plutôt par la radiographie que par la radioscopie.

Quant aux troubles de compression du pharynx et de l'œsophage, ils seront utilement recherchés, comme dans tous les cas où l'on soupçonne une diminution de calibre des premières voies digestives ; mais il est évident que la netteté d'une sonde métallique exploratrice sera diminuée par l'épaississement des tissus.

E. — Pharynx. Œsophage.

En dehors des corps étrangers, certaines lésions peuvent être explorées par les rayons de Röntgen. Nous ne voulons pas parler des plaies ou des affections inflammatoires simples, mais des rétrécissements et des tumeurs.

Rétrécissements. — Dans ce cas, il faut regarder à l'écran pendant que l'on fait le cathétérisme, pratiqué avec la sonde à olive de Duguet, le cathéter de Velpeau ou la bougie à grenaille de plomb de Bouchard.

L'emploi de la sonde peut faire craindre une perforation ou une hémorragie ; aussi, conseillons-nous de la remplacer par un procédé que l'un de nous a déjà fait connaître (2) ; après avoir préparé des boules métalliques, munies d'un fil résistant et souple, on les fait avaler successivement par le malade dans l'ordre de leur grosseur ; on obtient ainsi le diamètre et le siège du rétrécissement par la grosseur de la boule qui passe et par la situation de celle qui s'arrête.

Pour obtenir le *calibre* de l'œsophage dans son ensemble, il serait avan-

(1) Bérard, *loc. cit.*, p. 131.
(2) Mignon, L'examen du médiastin par la radioscopie et la radiographie. *Annales d'électro-biologie,* Paris, 1900, p. 607. *Congrès de radiologie*, Paris, 1900.

tageux de faire déglutir un tube analogue à celui de Faucher, dans lequel on verserait du mercure ; le tube devient tout à fait opaque, et la colonne métallique représente la position et la forme du conduit œsophagien.

Comme nous nous occupons de la portion cervicale, nous devons faire surtout l'examen sagittal ; cependant, les corps métalliques étant plus opaques encore que les vertèbres seront vus même par l'examen frontal, mais moins distinctement.

Les dilatations ou diverticules de l'œsophage sont visibles plus facilement par les mêmes moyens ; pour reconnaître la forme d'un diverticule, il faut introduire dans sa cavité une substance opaque, capable de se mouler à son intérieur et non contenue dans un tube.

On se sert du sous-nitrate de bismuth, que l'on fait avaler sous forme de cachet, pour faire le diagnostic des diverticules dits par propulsion ou par traction [Holzknecht (1), Béclère (2), Lévy-Dorn (3)].

L'introduction d'une sonde très opaque par le pharynx permet de voir les rapports qui existent entre l'œsophage et le diverticule.

Dans les cas de spasme de l'œsophage, on constatera que, malgré la difficulté de la déglutition, le calibre n'est pas toujours très étroit et surtout qu'il est variable ; cette recherche sera particulièrement intéressante à faire avec la sonde pleine de mercure, dont la pression arrivera à vaincre le spasme.

S'il y a paralysie de l'œsophage, l'opacité de la sonde ne présente aucun point rétréci qui explique la difficulté de la déglutition.

Tumeurs. — Lorsqu'il existe une tumeur de la partie inférieure du pharynx ou de la portion cervicale de l'œsophage, la région qu'elle occupe devient un peu plus sombre à condition que son volume soit suffisant.

Les tumeurs bénignes (polypes divers, kystes, fibromes) provoquent par leur forme régulière une tache limitée ; au contraire, l'épithéliome et le carcinome, accompagnés d'infiltration des tissus environnants, produisent une opacité qui peut être assez intense, mais diminue graduellement vers la périphérie. Ajoutons que les tumeurs sont souvent impossibles à découvrir au début, et toujours difficiles à observer chez les individus adipeux ou bien musclés, état peu durable dans les cas de néoplasme.

Beaucoup d'observateurs ont, comme nous-même, eu l'occasion de constater les opacités dues à ces affections.

Chez un malade de Lévy-Dorn, atteint de carcinome de l'œsophage, le cathétérisme semblait impossible ; les rayons de Röntgen montrant une tumeur du côté gauche, la sonde fut portée vers le côté droit et arriva jusqu'à l'estomac, permettant de diminuer la sténose (3).

(1) Holzknecht, *Die radiologische Diagnostik der Erkrankungen der Brusteingeweid.* Hambourg, 1901.

(2) Béclère, Le diagnostic radioscopique du diverticule de l'œsophage. *Revue française de médecine et de chirurgie*, 1903, n° 11.

(3) Lévy-Dorn, Communication écrite.

Inflammations. — Les autres affections inflammatoires de la région produisent aussi des opacités ; c'est ainsi que les abcès ou phlegmons péri ou rétro-pharyngiens sont indiqués par une zone sombre en rapport avec leur étendue. L'aspect rappelle, avec une localisation plus postérieure, les modifications que nous avons signalées à propos d'un abcès péri-trachéal relaté par Macintyre. Mais, comme la région œsophagienne est un peu moins transparente que la trachée, la différence est moins nette.

D'une façon générale les abcès de la région du cou augmentent, comme tous les foyers inflammatoires, l'opacité des tissus. Celle-ci apparaît au niveau des différents groupes ganglionnaires (1) et indique, par son étendue, l'extension de la lésion ; elle ne forme pas un très grand contraste avec le reste des tissus, mais elle est cependant appréciable.

Si l'on soupçonne une fusée purulente, provenant des régions voisines (mastoïde, maxillaire, médiastin), il est utile de rechercher son étendue par l'examen bilatéral de la transparence.

De même, dans les cas d'abcès froids ; s'il existe une fistule, on explore devant l'écran sa direction, qu'une sonde molle n'indique pas ; on évite alors l'emploi du stylet, souvent dangereux.

Les adénopathies, lorsqu'elles sont volumineuses, sont appréciables à l'écran ; nous avons plusieurs fois observé chez des enfants lymphatiques une zone plus sombre au niveau de la région carotidienne, correspondant avec l'hypertrophie des ganglions cervicaux supérieurs et inférieurs. Cette modification n'est pas toujours appréciable ; peut-être ne se produit-elle que si les ganglions superficiels et profonds sont pris. Elle est d'autant plus intéressante et permet de se rendre compte de l'état de tissus que le palper ne peut atteindre.

Les anévrismes des carotides (primitive, externe ou interne) sont indiqués par une opacité mieux limitée et plus régulière que celle des ganglions. La tache est d'autant plus nette que la poche est plus superficielle. Ses battements, appréciables à l'écran, permettent de la reconnaître ; l'expansion dans tous les sens la distingue d'un ganglion soulevé par une artère, qui peut elle-même être comprimée par une apophyse. Grisson (2) a signalé un faux diagnostic d'anévrisme de la sous-clavière ; les rayons X montrèrent que cette artère était simplement soulevée par une apophyse transverse. Les autres tumeurs du cou, indépendantes des organes dont nous avons parlé, sont dans quelques cas utilement étudiées par la radioscopie. Les tumeurs osseuses, le développement anormal d'une côte cervicale seront très visibles ; il n'en est pas toujours ainsi des kystes, des lipomes, des fibromes, des enchondromes ou des carcinomes, dont la transparence est plus grande.

Le torticolis est examiné par les rayons de Röntgen afin d'en établir par élimination l'origine musculaire. Au cas contraire, on constate des modifi-

(1) Walther, *Traité de chirurgie*, t. V, p. 678.
(2) Grisson, *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*, t. II, p. 103.

cations traumatiques ou pathologiques des vertèbres (luxation, arthrite, mal sous-occipital).

F. — Colonne cervicale.

L'exploration de la colonne cervicale nécessite l'emploi des rayons de Röntgen ; si l'image de l'écran n'est pas très nette chez certains sujets, la radiographie lui donne plus de précision, surtout lorsqu'elle est sagittale.

Dans la position postérieure, les premières vertèbres sont masquées, soit par le maxillaire inférieur, soit par l'occipital, suivant que la tête est droite ou élevée ; elle doit donc occuper une situation intermédiaire.

En plaçant le rayon d'incidence normale de profil, au niveau de la face antérieure des corps vertébraux, il suffit de déplacer le tube dans toute la longueur de la colonne pour constater si l'aspect est normal.

Luxation. — L'examen est très utile dans la recherche des luxations, qui atteignent surtout, comme l'a remarqué Malgaigne, les cinquième, sixième et septième vertèbres. L'atlas lui-même est quelquefois déplacé ; Lévy-Dorn (1) a observé un musicien présentant de la raideur du cou et des signes de compression médullaire ; la radiographie montra une luxation de l'atlas.

Dans un cas de blessure cervicale signalé par Wörner (2), les rayons X prouvèrent que, malgré les suppositions, il n'y avait ni luxation, ni fracture.

La position vicieuse de toutes les vertèbres est constatée comme le déplacement de l'une d'elles. Au lieu de voir une encoche correspondant au corps d'une vertèbre, on remarque une modification de la courbature normale.

Déviation de la colonne vertébrale. — Redard (3) a insisté sur l'utilité de la radiographie pour l'étude de ces déviations ; elle lui a permis de faire des observations très intéressantes (4).

On obtient ainsi la plupart des renseignements que l'on demande habituellement aux recherches anatomo-pathologiques. On apprécie la configuration et le degré d'affaissement des vertèbres, la diminution de l'espace apophysaire du côté concave, son augmentation du côté convexe ; on compare le degré de déviation des corps vertébraux à celui des apophyses épineuses.

Par des radiographies successives, on voit la marche de la maladie. Nous avons déjà eu l'occasion de faire remarquer la supériorité de ce moyen (5),

(1) Lévy-Dorn, Communication écrite.
(2) Wörner, *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*, t. II, p. 81.
(3) Redard, *XIIe Congrès français de chirurgie*, 8 oct. 1898.
(4) Redard et Laran, *Atlas de radiographie*, 1900.
(5) Mignon, *L'examen du médiastin*, p. 607.

qui permet d'éviter les erreurs dues à la contraction musculaire, le sujet étant radiographié dans la position de repos ; la flèche de la courbure de déviation est en effet très variable dans la position verticale, suivant la contraction des muscles.

Lordose et cyphose. — Elles sont constatées, non dans le plan antéro-postérieur, mais dans la position sagittale.

Scheier (1) a fait la radiographie d'une femme de soixante ans, atteinte de lordose de la colonne cervicale, entraînant des troubles de la déglutition. Plusieurs fois, il nous est arrivé de constater à l'écran chez des enfants une proéminence des arcs vertébraux, qui diminuait l'espace pharyngien, surtout à sa partie moyenne. On constate aussi par la radiographie les fractures des vertèbres et le déplacement des apophyses fracturées ; l'exploration latérale et postérieure montre successivement les apophyses épineuses et transverses.

Les altérations pathologiques de la colonne cervicale doivent fixer particulièrement l'attention.

Mal de Pott cervical. — Il produit au niveau des vertèbres des modifications de transparence, qui permettent de suivre ses lésions, comme le prouvent les intéressantes recherches de Redard.

Dès la première période, les foyers tuberculeux sont décelés, alors que les symptômes objectifs renseignent insuffisamment. A une période avancée, les clichés radiographiques indiquent l'étendue des lésions, l'importance des pertes de substance, l'existence de séquestres et de cavernes tuberculeux. L'examen répété montre la marche envahissante ou la tendance régressive du processus tuberculeux ; il indique l'opportunité du redressement de la gibbosité, montrant l'aspect du rachis, son degré d'inflexion, l'existence d'abcès froids ou d'autres lésions voisines.

L'étude sur le vivant du mal de Pott a permis de contrôler les causes de l'inflexion, étudiées expérimentalement par Bonnet, puis par Ménard et Guibal (2). Elle est due à la destruction plus ou moins avancée des corps vertébraux cervicaux et est généralement incomplète.

Le tassement des arcs postérieurs amène la superposition des apophyses épineuses, sans intervalle notable. La transparence permet de constater des modifications inappréciables par la palpation ; celle-ci, faite avec force, est douloureuse et même dangereuse. Le raccourcissement de la colonne cervicale est la conséquence du tassement des vertèbres, qui atténue en même temps la saillie des arcs postérieurs. La gibbosité est en effet peu accentuée, même lorsqu'une grande étendue des corps vertébraux est détruite, parce que ceux-ci ne se rapprochent pas seulement en avant.

Malgré l'effondrement de la substance spongieuse du corps, les apophyses transverses arrêtent l'inflexion et paralysent les mouvemements d'in-

(1) SCHEIER, *Société berlinoise de laryngologie*, 1er juillet 1898.
(2) MÉNARD et GUIBAL, *loc. cit.*, p. 685.

clinaison latérale par leur contact et leur pression réciproque. Ces indications ne sont évidemment pas visibles sur tous les sujets, même chez tous les enfants, dont les masses musculaires sont peu épaisses. Souvent, les foyers inflammatoires diminuent la netteté des vertèbres ; l'image est plus précise, quand la lésion est nettement limitée à la substance osseuse et n'a pas encore gagné les tissus voisins. On doit faire successivement les radiographies sagittale et postérieure ; pour interpréter plus facilement les images et moins confondre les opacités superposées, la radiographie stéréoscopique présente beaucoup d'avantages.

Le mal de Pott et les abcès froids qu'il entraîne ne sont pas les seules affections capables d'être révélées par les rayons de Röntgen. Toute inflammation notable des vertèbres et de leurs articulations diminue la transparence à son niveau.

Arthrites. — Redard (1) a pu diagnostiquer une arthrite chronique des vertèbres cervicales d'origine rhumatismale et entraînant du torticolis ; la subluxation des vertèbres fut constatée en même temps. La radiographie servit aussi à ce chirurgien dans un cas d'ostéite syphilitique des vertèbres cervicales supérieures.

Von Eiselsberg (2) a eu l'occasion de constater l'inflammation de plusieurs vertèbres cervicales.

Lévy-Dorn (3), examinant un malade atteint de raideur du cou et de contraction musculaire, observa de l'opacité autour de plusieurs vertèbres, qu'il attribua à l'ossification du périoste. En somme, toutes les fois que les vertèbres ne sont pas uniformément opaques et que leur contour ne se détache pas partout avec la même netteté, on est autorisé à admettre l'inflammation des tissus ; celle-ci est alors interprétée d'après l'aspect des opacités et les symptômes concomitants.

§ 3. — Application à la médecine opératoire.

Les rayons de Röntgen ne servent pas seulement à préciser ou à confirmer un diagnostic ; ils permettent aussi de constater l'application ou le résultat d'un traitement. Après avoir découvert et réduit une fracture de l'os hyoïde, on en vérifie devant l'écran la réduction.

Dans le tubage du larynx, on voit très bien la position exacte du tube et on le suit, s'il vient à passer dans l'œsophage. Variot cite le cas d'un enfant soigné pour un spasme de la glotte, qui avala un tube de O'Dwyer ; l'examen radioscopique montra le tube dans l'estomac, où il resta quelque temps, puis dans l'intestin, d'où il fut expulsé.

(1) Redard, Communication écrite.
(2) Von Eischberg, Communication écrite.
(3) Lévy-Dorn, Communication écrite.

La canule trachéale se voit avec la même facilité ; Gocht (1) a examiné des malades trachéotomisés pour des causes différentes, afin de préciser par les rayons de Röntgen la place de la canule. Par les examens antérieur et latéral, on constate si l'extrémité de l'instrument est bien placée et n'irrite pas les parois en exerçant dans un sens ou dans l'autre une forte pression. On verra de même la situation d'un dilatateur de Schrötter.

L'examen à l'écran est très utile pour pratiquer rapidement l'extraction des corps étrangers du larynx, surtout chez les enfants se prêtant peu à la laryngoscopie. Pour ceux de l'œsophage, le contrôle de l'écran pendant l'extraction par les voies naturelles est d'autant plus utile que le miroir ne permet pas de regarder dans les voies digestives. Un observateur ou l'opérateur lui-même regarde le chemin parcouru par la pince ou le panier de Græfe, après avoir placé le sujet en position sagittale. De cette façon, on suit la place de l'instrument par rapport à l'objet recherché. Treitel, examinant une femme qui avait avalé une pièce dentaire, put l'extraire aussitôt avec une pince sans blesser l'œsophage. Raw, après avoir constaté chez un enfant de deux ans la présence d'un sou au niveau des cinquième et sixième vertèbres cervicales, l'enleva avec une pince guidée dans sa recherche par l'examen radioscopique. Wowland et Wagget, Scheier ont obtenu le même succès. Sébileau conseille l'examen radiographique avant l'extraction des corps étrangers par l'œsophagotomie externe (2).

Nous avons montré les avantages que doit à l'écran le cathétérisme de l'œsophage, rendu plus facile, plus précis et moins dangereux. Ce moyen de contrôle peut aussi être employé, en appliquant la méthode de dilatation progressive du professeur Bouchard (3).

En examinant la colonne cervicale, on se rend compte du changement que peut amener un traitement bien conduit lorsqu'on a constaté une luxation ou un déplacement consécutif à une fracture.

Lorsqu'une opération osseuse a été pratiquée, la radiographie indique ses résultats ; après une laminectomie, on constate la perte de substance, de même que Londe a pu remarquer des ligatures métalliques ou des griffes servant à fixer des fragments de vertèbres (4). Ce moyen est aussi précieux pour surveiller le traitement des déviations de la colonne vertébrale ; aussi doit-on appliquer de préférence des appareils transparents. Mencière (5) préconise l'emploi de feutre poro-plastique qui est assez solide et permet de radiographier la région qu'il entoure ; la minerve est fixée au pourtour par des bandes de toile imbibées de dextrine. Les appareils plâtrés permettent moins de netteté.

(1) Gocht, *Lehrbuch der Röntgenuntersüchung*. Stuttgard, 1898.

(2) Sébileau, L'œsophagotomie externe appliquée chez l'enfant à l'extraction de pièces de monnaie. *Annales des maladies de l'oreille et du larynx*, janvier 1903.

(3) Lesbini, *Traitement des rétrécissements œsophagiens par la dilatation temporaire progressive d'après la méthode de Ch. Bouchard*. Paris. Thèse de doct., 1873, n° 401.

(4) Londe, *Traité pratique de radiographie et de radioscopie*, p. 191.

(5) Mencière, *Médecine moderne*, 20 mai 1899.

§ 4. — Valeur comparée de la radioscopie et des autres méthodes d'exploration de la région.

Nous avons envisagé toutes les applications des rayons de Röntgen à la région cervicale; si l'on compare les indications qu'ils fournissent sur chaque organe à celles que l'on obtient par les autres méthodes d'exploration, on s'aperçoit que leur importance est variable suivant la nature des recherches.

Pour la découverte des corps étrangers, la radiographie est évidemment plus précise que les indications de la boussole ou de la balance d'induction de Hughes.

Le larynx et la trachée sont explorables depuis les mémorables recherches de Garcia et surtout de Türk (1) et de Czermack. La laryngoscopie montre l'état de la muqueuse et le fonctionnement des cordes vocales.

Quelquefois on a recours à la méthode de Kirstein ou autolaryngoscopie directe et même à la brochoscopie préconisée par Killian (2).

On demande aussi des indications au palper et à l'auscultation de l'organe, même au toucher intralaryngien. Cependant, la radioscopie est un moyen complémentaire utile non seulement dans la recherche des corps étrangers, mais aussi dans l'étude des rapports du larynx, de l'état de ses cartilages et même de certains cas pathologiques.

Le pharynx est facile à explorer ; il en est autrement de l'œsophage. Les indications fournies par le palper et le toucher digital sont insuffisantes (3); l'endoscopie œsophagienne, employée avec quelque succès par Mikulicz (4) commence à se vulgariser ; l'auscultation de l'œsophage, préconisée par Hamburger (5), étudiée par Morell-Mackensie, Natanson, Barety (6), est une application très ingénieuse de la découverte de Laënnec ; mais c'est surtout au cathétérisme que l'on a recours (7). Malheureusement, il n'est pas sans danger (8), tout en étant quelquefois insuffisant. L'examen par la radio-

(1) Turk, *Clinic researches on different diseases of the larynx*. London, 1862.

(2) Killian, *Münch. med. Wochens.*, n° 27, 1898. *Wiener med. Wochens.*, n° 1, 1900.

(3) Sainte-Marie, *Des différents modes d'exploration de l'œsophage*. Th. Paris, 1875, n° 123.

(4) Mickulicz, Ueber Gastroscopie und Œsophagoscopie. *Centralblatt für Chirurgie*, 1881, p. 673.

(5) Hamburger, Klinik der Œsophaguskrankheiten. Erlangen, 1871. Anal. par Hénocque, *Gaz. hebd. Paris*, 1870, n° 14, et 1872, n° 13, p. 205.

(6) Barety, De l'auscultation des bruits œsophagiens pendant la déglutition. *Revue de médecine*. Paris, 1884, p. 652.

(7) Mouton, *Du calibre de l'œsophage et du cathétérisme œsophagien*, Th. Paris, 1874, n° 47.

(8) Comte, *Des accidents du cathétérisme de l'œsophage*. Th. Paris, 1877, n° 109.

scopie permet à la fois de lui donner plus de précision et de le compléter, surtout dans la région cervicale où la position sagittale facilite les observations.

Pour la colonne cervicale, le palper et l'étude des mouvements étaient, avec le toucher pharyngien, les seuls moyens d'exploration ; la radiographie et la radioscopie donnent sur elle des renseignements d'autant plus précis que son opacité contraste davantage avec la transparence des tissus environnants. On est donc autorisé à conclure que tout en étant difficile à explorer par les rayons de Röntgen, la région cervicale peut leur demander beaucoup d'indications utiles.

Docteur Albert Ruault,
Médecin honoraire de la Clinique laryngologique des Sourds-Muets.

Docteur Maurice Mignon,
Ex-Assistant de la Clinique laryngologique des Sourds-Muets.

VIII. — LA TÊTE EN GÉNÉRAL. LES DENTS. LA BOUCHE. L'OREILLE. LES VOIES RESPIRATOIRES SUPÉRIEURES

Dès la publication du mémoire sensationnel de Röntgen les rayons X ont été employés pour l'examen médical des extrémités. L'examen de la tête n'est devenu possible que plusieurs mois après. On y a recherché d'abord les corps étrangers (question dont je n'aurai point à m'occuper ici) (1). En septembre 1896, j'ai montré au Congrès de Francfort-sur-Mein l'utilité que pouvait tirer la rhinologie de ce nouveau mode d'exploration. En mai 1897 j'ai pu, grâce aux perfectionnements de l'appareillage, étudier le voile du palais et l'épiglotte, ainsi que leurs mouvements dans la parole et la déglutition. Au Congrès de Berlin 1897, j'ai montré l'importance de ces recherches au point de vue physiologique.

Nombreux déjà sont les travaux publiés dans tous les pays du monde sur l'examen radiologique de la tête et en particulier du nez, des oreilles, des dents. Je les citerai au cours de cette étude.

Nous allons donc passer successivement en revue :

1° Les applications des rayons X à l'étude de l'embryologie de la tête ;

2° De son anatomie ;

3° De sa physiologie ;

4° Des affections médicales et chirurgicales de cette région (2) ;

5° et 6° Les applications des rayons X à l'otologie et à l'odontologie.

(1) Je rappellerai seulement ici les communications de Eulenburg, Stechow, Scheier.

(2) Sauf ce qui concerne les yeux, étudié dans un autre chapitre.

CHAPITRE PREMIER

APPLICATIONS DE LA RADIOLOGIE A L'ÉTUDE EMBRYOLOGIQUE DE LA TÊTE

Les rayons X devaient incontestablement être regardés comme un moyen d'étude de premier ordre en embryologie et pour l'histoire du développement en général. Il est assez étonnant qu'on en ait si longtemps négligé l'emploi à ce point de vue (1).

Il est vrai que jusqu'au 3e mois de la vie intra-utérine l'examen radiologique est impuissant à rien nous révéler, mais dès lors que la substance osseuse est assez épaisse et assez chargée de chaux, les plus petits foyers d'ossification deviennent apparents. Que l'on veuille bien remarquer combien cette méthode d'exploration est facile si on la compare aux procédés longs et pénibles de l'histologie (préparation, durcissement, montage, coupes sériées, etc.). Elle a un autre avantage, c'est de ne point détruire l'objet, alors que le microtome annule sa forme extérieure, toujours très difficile à reconstituer :

Technique. — Voici comment nous opérons :

On place l'embryon frais sur la plaque photographique enveloppée en interposant une couche de gutta-percha ou de parchemin pour éviter l'action de l'humidité sur la plaque. Puis on l'expose aux rayons X pendant un temps variable suivant l'épaisseur de l'objet. En général, j'ai employé des poses de quelques secondes à 3 minutes, ne cherchant point à faire l'instantané et ayant l'habitude de peu pousser mes tubes. La distance de l'ampoule à l'objet a été de 80 à 90 centimètres. J'opérais avec une bobine de 30 centimètres d'étincelle marchant sur le secteur de la ville.

Il y a fréquemment excès de pose pour les embryons très jeunes, surtout si l'on se sert d'un tube dur. Aussi vaut-il mieux en ce cas se servir, comme le conseille aussi Lambertz, d'un tube aussi mou que possible. La résistance de ceux que nous avons employés répondait parfois à une longueur d'étincelle de 4 à 6 centimètres.

(1) Bade, *Arch. f. mikrosc. Anat. und Entwickelungsgesch*, Bd 15. Lambertz, *Fortschrit, auf d. Gebiete der Röntgen*. Ergänzungsheft, I.

La position à donner au fœtus est importante. Nous le mettons soit en position sagittale, l'axe médian de la tête se trouvant approximativement parallèle à la plaque, soit en position frontale, le front et le menton reposant ordinairement sur la plaque. Dans certains cas, la tête a été séparée du tronc, la calotte cranienne enlevée, ainsi que l'encéphale ; quelquefois elle a été partagée en deux moitiés symétriques.

Il faudrait, pour que cette étude soit complète, pouvoir reproduire toute une série de planches et montrer l'évolution de la tête osseuse depuis l'origine jusqu'à l'âge adulte. Les limites de l'ouvrage ne nous le permettent point, et nous ne pouvons que choisir quelques radiographies de notre collection à titre d'exemples (1).

Je dois encore faire remarquer que j'ai employé au cours de ces recherches la table de Schrœder (*Manuel d'obstétrique*) pour déterminer l'âge de mes fœtus. Ce procédé, on le sait, n'est qu'approximatif, puisque la longueur du fœtus dépend non seulement de l'âge, mais des caractères individuels (2).

Développement du squelette. — Les résultats obtenus sont en parfaite harmonie avec ceux de la méthode histologique. La radiologie ne nous apprend rien de nouveau, mais elle a, nous le savons, des avantages, et nous allons voir combien ses applications sont intéressantes en cette matière (3).

Le squelette de la tête passe par trois états : l'état membraneux, l'état cartilagineux, l'état osseux. Les rayons X ne donnent que peu de résultats pour l'étude des deux premiers (crâne primordial) (4).

Etat membraneux. — On sait que c'est autour de la *chorda dorsalis*, dont l'extrémité antérieure correspond au cerveau intermédiaire, que naissent des expansions membraneuses, ou lames céphaliques, qui formeront d'une part les méninges par leur couche interne, et, d'autre part, le crâne primordial par leur couche externe. Ces lames céphaliques, prolongées en avant de la chorda, donnent naissance à deux paires de cartilages (cartilages préchordaux ou poutrelles craniennes de Rathke en avant de la chorda, plus tard lame ethmoïdale ; cartilages parachordaux, de chaque côté de la chorda, plus tard lame basilaire ou selle turcique primitive).

Etat cartilagineux. — De ces rudiments dérivent les différentes parties du crâne cartilagineux qui deviendront, par ossification enchondrale, les os de la base du crâne. Au contraire, les os de la voûte cranienne prennent leur origine en dehors du crâne primordial, dans le tissu conjonctif ; on les

(1) Les matériaux de mes recherches pour ce traité ont été aimablement mis à ma disposition par l'Universitätsfrauenklinik et le königliche anatom. Institut de Berlin, et j'en remercie ici MM. les professeurs Ohlshausen et Waldeyer.

(2) Longueur au bout du 1er mois, 7 à 8 millimètres ; au bout du 2e mois, 8 millimètres à 2 cm. 5 ; au bout du 3e mois, 7 à 9 centimètres ; au 4e, 10 à 17 centimètres ; au 5e, 18 à 27 centimètres ; au 6e, 28 à 34 centimètres ; au 7e, 35 à 38 centimètres ; au 8e, 39 à 42 cm. 5 ; au 9e, 46 cm. 75 ; au 10e, 49 à 50 centimètres.

(3) Scheier, Sur le développement de la tête étudié par la radiographie. *Rapport à l'A. F. A. S.*, 1900.

(4) Cf. les livres d'Hertwig, Kollmann, Oscar Schultze, Kölliker, sur l'*Histoire du développement*.

appelle os de revêtement. A ces derniers se rattachent l'écaille de l'occipital (partie supérieure), le pariétal, le frontal, l'os du nez, l'écaille du temporal, l'unguis, le malaire, les maxillaires, etc.

Etat osseux. — Nos radiographies, nous ont permis de suivre le processus de l'ossification dans la plupart des régions de la tête, et il est regrettable de ne pouvoir en reproduire ici toute la série.

Ainsi, si nous considérons l'*occipital*, nous voyons que le fœtus de 7 centimètres ne présente aucun point d'ossification (pl. I, fig. 1, position sagittale, incidence latérale); le fœtus de 11 centimètres au contraire (pl. I, fig. 3, position sagittale, incidence latérale) montre nettement des foyers osseux, et l'on peut juger de leur épaisseur par l'opacité de l'ombre. Par exemple le point osseux situé en arrière du trou occipital donne une ombre plus foncée dans la partie externe, ce qui prouve que l'ossification y est plus avancée. On suit facilement la marche envahissante du tissu osseux chez le fœtus de 19 centimètres (pl. II, fig. 1,) et du commencement du 6e mois (pl. II, fig. 2). Dans une autre radiographie d'un fœtus de 19 centimètres dont la tête avait été séparée du tronc et la calotte cranienne enlevée, la base reposant sur la plaque, on voit nettement les différents foyers osseux de cet os, et entre eux des espaces clairs (pl. I, fig. 4), espaces qui deviennent de plus en plus petits, comme chez le fœtus de 25 centimètres (pl. III, fig 2).

Chez le fœtus du 8e mois (pl. IV), on voit progressivement s'étendre l'ossification des segments basilaires latéraux et squameux encore séparés par des espaces clairs. Au cours de la première année après la naissance, l'écaille se fusionne avec les régions condyliennes. La radiographie du crâne préparé d'un enfant de 2 ans et demi nous fait voir encore la séparation des parties latérales avec les parties occipitale et basilaire. La fusion est complète à 4 ans, tandis que la réunion de l'os basilaire et du sphénoïde ne se fait qu'à la fin de l'accroissement.

Ces points d'ossification du *sphénoïde* se voient aussi assez nettement sur plusieurs de nos radiographies. Ainsi chez le fœtus de 19 centimètres (pl. I, fig. 4), on reconnaît les deux points d'ossification de la partie postérieure du corps du sphénoïde. Ces deux points sont encore très petits et distincts l'un de l'autre. On voit une tache ronde qui s'étend de là vers le menton et qui correspond au naso-pharynx. Nous retrouvons ces mêmes points à 5 mois (pl. III, fig. 2) fusionnés l'un avec l'autre, mais encore séparés de ceux du sphénoïde antérieur ; des deux côtés nous voyons s'allonger une ombre à convexité antérieure et nettement dessinée, c'est l'ombre des grandes ailes. Cette ombre va s'épaississant chez le fœtus plus âgé (pl. IV). — Remarquons que le corps du sphénoïde ossifié nous apparaît toujours comme plein chez le fœtus. Ce n'est que plus tard, après la naissance, que se forment les sinus par résorption du tissu osseux.

L'ossification de l'*ethmoïde* ne peut s'étudier avec les rayons X qu'en préparant l'os isolé.

Celle du *temporal* nous offre plus d'intérêt. On sait que cet os est composé

de plusieurs parties encore séparées pour la plupart à la naissance. La partie pétreuse avec l'apophyse mastoïde se développe dans la partie du crâne primordial qui renferme l'oreille ; plus tard s'y joint le processus styloïdien, cartilagineux chez l'embryon. La portion squameuse et la portion tympanique au contraire sont des os de revêtement. L'anneau tympanique, qui soustend la membrane tympanique, se développe, on le sait, dans le tissu conjonctif en dehors des osselets de l'ouïe. On le voit très bien dans plusieurs de nos radiographies, et notamment chez un fœtus du 5[e] mois (pl. II, fig. 1).

Le *labyrinthe*, lui, est d'autant plus intéressant à étudier ici qu'il se voit très bien chez le fœtus et que les radiographies sont relativement faciles à interpréter.

On sait que la vésicule embryonnaire du labyrinthe, dérivée par invagination du feuillet ectodermique, s'étrangle et se sépare en deux parties, l'une inférieure, la partie vestibulaire, l'autre supérieure, qui deviendra l'aqueduc du vestibule. Plus tard se forment par un processus spécial, aux dépens des parois, les canaux semi-circulaires et le canal cochléaire uni à la cavité du vestibule par le *canalis reuniens*. Le vestibule se divise en deux parties séparées l'une de l'autre, l'utricule en arrière, dans lequel s'ouvrent les canaux semi-circulaires, et le saccule en avant. Les différentes cavités du labyrinthe se forment par résorption.

Le limaçon possède déjà dans la 8[e] semaine une circonvolution complète et à la 11[e] ses deux circonvolutions et demie. L'ossification du labyrinthe se fait par quatre foyers. Kölliker n'a trouvé de traces d'ossification ni au 3[e] ni au 4[e] mois. Ce n'est qu'au 5[e] et surtout au 6[e] mois que commencent à se former les concrétions calcaires, qui ensuite font des progrès rapides.

Les rayons X nous permettent de voir très distinctement le labyrinthe chez le fœtus. Les canaux semi-circulaires se voient nettement chez le fœtus de 30 centimètres (commencement du 6[e] mois) (pl. II, fig. 2), tandis qu'on ne voit encore chez le fœtus de 19 centimètres aucune trace d'ossification (pl. II, fig. 1). Chez un embryon du milieu du 6[e] mois que nous avons pris en position sagittale avec incidence oblique (profil 3/4), nous voyons aussi très clairement ces canaux, de même que dans une tête préparée (coupée en deux) d'un fœtus de 7 mois, où ils apparaissent avec beaucoup de détail (pl. III, fig. 1); le plus élevé est le canal semi-circulaire supérieur ou antérieur ; celui qui s'étend en bas est le postérieur ou inférieur ; tandis que l'extérieur, vu naturellement en raccourci, est horizontal.

Laissant de côté les autres os dont l'étude nous entraînerait trop loin, nous allons dire seulement quelques mots encore des *maxillaires*.

Le maxillaire supérieur chez l'homme ne présente que dans les premières semaines la division en deux paires d'os : maxillaires, et intermaxillaires (incisifs) ; à la 8[e] semaine la séparation est encore visible ; à la 11[e] et 12[e] l'union est intime, sauf dans les cas d'anomalie (persistance de la scissure même chez l'adulte). Le maxillaire inférieur procède du cartilage de Meckel, qui se développe dans la branche maxillaire de l'arc facial et qui forme par son

extrémité cranienne l'enclume et le marteau. La partie droite et la partie gauche ne se soudent pas et laissent entre elles un espace que nous voyons nettement dans nos radiographies. L'ossification commence de bonne heure, tout de suite après l'apparition des points d'ossification de la clavicule (7e ou 8e semaine). Pendant toute la vie embryonnaire le maxillaire inférieur est formé de deux moitiés unies par une sorte de synchondrose. Ce n'est que dans la première année qui suit la naissance qu'il devient os impair.

Nos radiographies nous font voir chez le fœtus de 7 cm. (pl. I, fig. 1) dans la tête duquel nous ne trouvons encore aucun point d'ossification, une ligne d'ombre qui représente le maxillaire inférieur. Cette ligne est beaucoup plus accusée chez le fœtus de 9 cm. 5 (pl. I, fig. 2). Chez le fœtus du 4e mois (pl. I, fig. 3) et du 5e (pl. I, fig. 5 et pl. III, fig. 3), nous voyons nettement les deux parties du maxillaire et la zone qui les sépare.

Ces radiographies nous montrent aussi que les sinus des régions maxillaire et nasale, ainsi que le sinus frontal, ne se forment qu'après la naissance.

Monstruosités. — Nous ne quitterons pas ce chapitre de l'étude du développement de la tête sans ajouter les immenses services que peut rendre la radiologie à l'étude des monstruosités. Lorsqu'on possède une pièce unique, que l'on voudrait conserver, les rayons X nous révèlent facilement, sans lui causer aucun dommage, les anomalies de développement des parties squelettiques. Il y aurait toute une série de radiographies de monstres à reproduire, le cadre de l'ouvrage ne nous le permet pas, mais d'ailleurs on en trouve publiées dans beaucoup de collections.

CHAPITRE II

ANATOMIE GÉNÉRALE DE LA TÊTE

L'examen de la tête peut se faire par la radioscopie ou par la radiographie.

§ 1er. — Procédé radioscopique.

Technique. — L'examen se fait en chambre obscure.

Écran. — Pour ne pas être aveuglé pendant l'examen par les parties de l'écran qui débordent la tête, il y a avantage à prendre un écran de petites dimensions. Des essais faits avec des écrans souples qui embrassent la courbure de la tête m'ont montré qu'il n'est pas pratique de les employer à cause de la déformation de l'objet. L'orientation est plus difficile qu'avec les écrans plans.

La radioscopie de la tête plus encore que celle des autres régions exige comme première condition que l'on opère dans une pièce complètement obscure, car ici surtout il faut saisir les plus légères différences d'ombres. Non seulement il ne faut aucune lumière étrangère, mais la fluorescence même du tube de Crookes est gênante. Aussi faut-il cacher cette fluorescence aux yeux de l'observateur en enveloppant le tube avec du drap noir par exemple. C'est la condition essentielle pour bien voir les ombres portées.

Position du tube. — La distance du tube à l'objet est très importante. Les images seront d'autant plus grandes et d'autant plus déformées que la source a été près de l'objet. L'éloignement du tube au contraire donne ces images plus petites et plus vraies.

La position du tube par rapport à l'objet et à l'écran est très importante aussi. Le tube de Röntgen doit être placé juste en face du milieu de l'organe à examiner et la tête posée bien régulièrement soit en position frontale, soit en position sagittale. Tout au moins la position adoptée doit être parfaitement déterminée.

Interprétation des images radioscopiques. — Les images de la tête étant d'ailleurs très complexes, il faut beaucoup d'habitude pour les bien comprendre. En effet, les rapports des ombres projetées sont d'autant plus variables par le moindre déplacement du tube que le diamètre du corps irradié est plus considérable. En examinant les *narines* à l'écran avec incidence latérale on voit que le bout du nez est presque complètement transparent. Il ne donne qu'une ombre légère mais suffisante pour reconnaître ses contours.

Si l'on introduit une sonde dans les narines, on voit son ombre grâce à la transparence de la partie antérieure cartilagineuse. Chez beaucoup de personnes on peut encore voir la tête de la sonde enfoncée à 5 ou 6 centimètres de profondeur et même quand elle se trouve dans la cavité naso-pharyngienne. Naturellement cela dépend tout à fait de l'épaisseur des os qui l'entourent et aussi de l'intensité de la source de lumière.

La *peau du crâne* apparaît comme un bord transparent ; en dessous se montre le crâne osseux.

Le sinus frontal se reconnaît très facilement. Il apparaît parfois tout à fait clair et transparent. Il est d'autant plus clair qu'il est grand et que l'os qui l'entoure est mince. L'antre d'Highmore se détache en ombre claire au-dessus de l'ombre noire du palais osseux, mais elle n'est pas aussi claire et circonscrite que celle du sinus frontal.

La cavité du sphénoïde n'est pas toujours visible par la radioscopie.

Les *lèvres* se projettent en ombre plus foncée que celle de la partie antérieure du nez. Cette ombre est nettement distincte de celle des mâchoires, beaucoup plus noire. Nous voyons aussi la *langue* en profil. Il est important pour l'examiner de la faire sortir pour mieux reconnaître l'ombre qu'elle forme sur l'écran. Dans la cavité buccale la langue est plus visible chez les sujets qui ont perdu quelques dents molaires.

Si l'on place le tube à peu près vis-à-vis l'apophyse mastoïde du temporal à une distance de quelques millimètres environ, on voit la *cavité naso-pharyngienne* et le *pharynx* saillir en ombre claire délimitée en arrière par la *colonne cervicale* qui apparaît en noir foncé. On peut très bien distinguer les différentes vertèbres, le corps, l'arc, l'apophyse transverse et épineuse.

En avant de la colonne cervicale se montre une bande étroite d'une couleur plus claire. C'est la musculature des parois pharyngiennes postérieures éclairée transversalement. Si l'on suit cette bande en haut, on la voit traverser l'ombre foncée de la branche montante du maxillaire inférieur. Puis elle s'incurve en avant le long du bord inférieur de la région basilaire du crâne.

Si l'on fait prononcer une voyelle, on voit le *voile du palais* se lever et prendre, suivant la voyelle, une position toute différente dans la cavité naso-pharyngienne. Il en est du mouvement du voile du palais comme des mouvements du cœur. On ne les aperçoit pas tout de suite sur l'écran : ils ne deviennent apparents que par un examen prolongé, quand nos yeux se

sont habitués à l'image sombre; alors les détails des différentes ombres deviennent de plus en plus nettes.

Avant d'avoir exposé au Congrès de médecine de Berlin (1) les mouvements du voile du palais, j'avais déjà montré mes observations à quelques confrères. J'ai remarqué que les uns voyaient tout de suite les mouvements, tandis que les autres ne les percevaient que difficilement après avoir regardé longtemps. Cela dépend tout à fait du pouvoir d'accommodation de l'observateur. Les mouvements du voile du palais se voient d'autant mieux chez l'adulte que la cavité naso-pharyngienne est plus large et les muscles moins épais. Quand on a vu une fois sur l'écran le voile du palais, on le reconnaît très facilement chez les autres individus.

L'autre partie de la tête, spécialement l'intérieur de l'oreille, ne donne de résultats ni par l'éclairage en plan frontal, ni par l'éclairage en plan sagittal.

En ce qui concerne l'endodiascopie, procédé imaginé par Bouchacourt et qui consiste à introduire le tube de Crookes dans la cavité buccale, nous renverrons au chapitre spécial traité par l'auteur lui-même, et surtout utile d'ailleurs en odontologie et en stomatologie.

§ 2. — **Procédé radiographique.**

Le second procédé est le procédé radiographique. Il est plus sensible et permet de reconnaître de plus grandes finesses de détail.

Technique. — Durée de pose. — Le seul désagrément est que la durée de la pose est encore pour la tête de 1 à 3 minutes, malgré les progrès réalisés tous les jours dans la technique de cette méthode et dans le mode de production et d'emploi des rayons X. Le temps de pose a d'ailleurs été déjà beaucoup réduit, puisque autrefois il n'était jamais inférieur à 15 minutes.

Les écrans renforçateurs et les nouveaux interrupteurs permettent d'arriver parfois à des poses de quelques secondes, surtout si l'on ne ménage pas ses tubes. Nous n'aimons pas beaucoup employer les écrans de renforcement, car alors nous avons remarqué sur la plaque de fines granulations gênantes pour l'examen.

Position du sujet. — La radiographie de la tête peut se faire de deux manières :

1° On peut mettre la tête du sujet à examiner en position *sagittale*, l'un des côtés reposant sur la plaque et l'autre étant irradié par les rayons;

2° On peut la mettre en position *frontale*, l'occiput sur la plaque et la face irradiée par les rayons, ou vice versa, avec incidence inférieure, la plaque étant maintenue devant la figure par certains dispositifs (table,

(1) Scheier, *Deutsche med. Wochenschrift*, 1897, n° 25.

d'examen de Max Lévy-Berlin, par exemple) (V. fig. 244 et 250). Ces reproductions, suivant deux plans d'examen, sont surtout nécessaires pour la localisation des corps étrangers.

Interprétation des radiographies. — Elle présente beaucoup de difficultés. Les ombres, en effet, sont ici très complexes et un observateur, même expérimenté, serait-il un anatomiste émérite, a de la peine à les reconnaître.

Il faut ajouter que les résultats obtenus ne sont pas constants : tandis que l'on manque rarement une radiographie de la main, celle de la tête, au contraire, donne encore fréquemment lieu à des échecs.

La région de la tête est la plus difficile à radiographier, parce qu'on ne peut pas savoir d'avance la durée de la pose : les synostoses du crâne diffèrent beaucoup d'un sujet à l'autre. En outre, l'épaisseur du tissu osseux augmente avec l'âge. Puis la grandeur et la forme des différents os sont très variables, ainsi que celles des cavités et sinus.

Pour étudier la configuration normale des os de la tête, j'ai fait une série de radiographies soit avec des crânes secs, soit avec des crânes revêtus de leur tissu mou, soit chez l'homme vivant. Je les ai prises dans différentes positions et suivant diverses incidences.

Il est indispensable, quand on veut, sans une grande habitude, interpréter une radiographie, de tenir en main un crâne sec, comme on peut s'en rendre compte, par exemple, en considérant les figures 1 et 2 de la planche V. Remarquons que les ombres osseuses sont d'autant plus nettes qu'il y a moins de distance entre la plaque et l'objet ; aussi la partie de la tête qui est la plus éloignée de la plaque sera la moins distincte. Les plus fins détails de cette partie disparaissent et l'on ne voit que les grosses masses avec des contours flous. Ces figures nous montrent distinctement la selle turcique avec les apophyses clinoïdes antérieures ou postérieures ; en avant, l'os nasal et l'apophyse nasale du maxillaire supérieur ; en arrière, la protubérance occipitale externe. En avant, nous voyons encore le sinus frontal, espace à peu près triangulaire. L'ombre foncée de son bord supéro-postérieur s'allonge en arrière jusqu'aux apophyses clinoïdes antérieures. Cette ombre correspond à la face interne (supérieure) de la base du crâne, dans sa partie antérieure. Au-dessous on voit les contours de l'orbite. Le sinus sphénoïdal se distingue aussi très nettement. L'os temporal, surtout la partie pétreuse, apparaît en ombre très foncée. La tache claire qui se voit au milieu est l'orifice du conduit auditif externe ; au-dessous, l'apophyse mastoïde, dont on distingue les cavités. L'ombre qui s'allonge en avant le long de l'os temporal est l'arc zygomatique. L'ombre de l'os malaire est très distincte aussi. L'antre d'Highmore est marquée par un espace plus clair. Les alvéoles et les dents apparaissent nettement, ainsi que l'apophyse ptérygoïde du sphénoïde.

La radiographie d'un demi-crâne d'adulte aide beaucoup à comprendre les radiographies de crânes entiers. Seulement, il ne faut pas oublier alors que les ombres droites et gauches se superposent, et que celles du côté le plus

éloigné de la plaque apparaissent toujours plus grandes et plus floues. Cette différence d'aspect est d'ailleurs d'autant plus grande que le tube de Crookes est plus rapproché.

La figure 2 de la planche V nous montre les cavités du crâne. Nous avons injecté les cavités accessoires du nez avec du minium. Par la position sagittale on peut voir très distinctement la grandeur et la position de ces cavités. Nous voyons ainsi la cavité du sphénoïde, le sinus frontal, les cellules de l'ethmoïde, le sinus maxillaire, etc. L'ombre que nous voyons en arrière du palais osseux, dans le prolongement de son plan, est le palais mou. La radiographie en plan frontal nous donnerait les dimensions transversales des cavités du nez.

Glover et Reynier (1) ont aussi fait des recherches très intéressantes sur ces différentes questions. Ils partageaient leurs têtes, enlevaient les parties molles extérieures, injectaient les sinus avec une émulsion de poudre de bronze, et durcissaient le cerveau par le formol. Leurs recherches ont surtout porté sur la topographie de l'encéphale dans la boîte cranienne, les rapports des sinus veineux (sinus latéral en particulier), et sur les cavités frontales et maxillaires.

Les vaisseaux de la tête se voient très bien sur les radiographies après injection de liquides opaques, tels que la laque liquide additionnée de chromate de plomb, l'onguent gris, le mercure. J'ai montré à la Société laryngologique de Berlin (2) des radiographies de l'artère linguale et de ses ramifications. La stéréoscopie fait voir en ce cas des images d'une beauté remarquable, avec un relief frappant. Je n'insiste pas sur cette question, traitée dans un autre chapitre.

Si la mise en planches permettait de rendre toutes les finesses du négatif, j'aurais reproduit toute une série de radiographies qui auraient pu rendre service comme documents de comparaison dans les cas pathologiques. Malheureusement, nous ne pouvons encore qu'à grand'peine obtenir de bonnes épreuves des sinus frontaux par exemple, des sinus sphénoïdaux, ou de l'articulation temporo-maxillaire même, régions si importantes à explorer, et dès lors le clichage donnerait des reproductions si insuffisantes qu'elles ne pourraient servir de pièces de démonstration.

(1) Glover et Reynier, *Revue hebd. de laryngologie*, 1898, n° 3.
Glover, *Arch. int. de laryngologie*, 1898.
(2) Scheier, *Annales des malad. de l'oreille et du larynx*, 1899, p. 218.
Cf. aussi Clendinnen, Radiogr. des artères intracraniennes. *Arch. d'élect. méd.* 1898, p. 177.

CHAPITRE III

APPLICATION DES RAYONS X A CERTAINES QUESTIONS DE PHYSIOLOGIE

§ 1. — Physiologie du langage.

La physiologie de la langue est de mieux en mieux connue, grâce aux travaux remarquables de nombreux auteurs, parmi lesquels je citerai Merkel, Brücke. Mais il y a encore beaucoup de questions à résoudre sur le mécanisme de l'émission des différents sons. Jusqu'à présent on pouvait observer directement avec les yeux l'émission de quelques sons, étudier la position des lèvres pour chaque voyelle et chaque consonne, mais on ne pouvait pas connaître directement la position de la langue et du voile du palais ; car la cavité buccale, est dans la prononciation de la plupart des lettres, cachée à notre regard.

Les savants ont usé de différents moyens pour étudier la forme de la cavité buccale. Pour examiner, par exemple, la forme de la langue dans la prononciation des différentes voyelles, on a employé la palpation avec les doigts. Pour connaître la façon dont la langue articule, on se servit aussi d'une tige en bois flexible avec laquelle on pouvait sentir la région fermée.

La nature subjective des observations sur lesquelles s'appuie la recherche du mécanisme du son a été la cause d'illusions et de déceptions fréquentes.

Les rayons X, ainsi que l'ai montré, nous offrent un nouveau mode d'investigation pour l'étude de la voix articulée (1).

Technique. — On place, en chambre noire, la tête du sujet devant le tube de Crookes, de manière que la bouche et le naso-pharynx soient irradiés transversalement. Si l'on tient l'écran de platino-cyanure de baryum du côté opposé, parallèlement au plan sagittal, on obtient une coupe parfaite de la tête. On voit non seulement les lèvres, mais encore la langue, le

(1) Scheier, *Deutsche med. Wochenschrift*, 1897, n° 25. *Arch. internat. de laryngologie*, 1898. *Phonetische Studien herausgegeben von Vietor*, 1898.

voile du palais, l'épiglotte et le larynx et on peut étudier ainsi directement le mécanisme de la parole.

Pour dessiner l'image observée sur l'écran, il faut mettre sur la couche fluorescente une mince plaque en verre ou mieux encore une plaque en celluloïd transparente, sur laquelle est assujettie d'une manière quelconque une feuille de papier à calquer. Avec un crayon, on peut dessiner l'image et étudier la forme des lèvres, de la langue ou du voile du palais, etc.

Rappelons ici, en particulier, qu'on ne reconnaîtra pas immédiatement tous les détails sur l'écran. Il y a des différences si fines dans les nuances des ombres qu'il faut beaucoup d'exercice et une grande attention, pour apprendre peu à peu à les interpréter. Benedikt dit, et avec raison, que c'est « à la sueur de son front qu'on doit apprendre à lire une image radioscopique, et que leur interprétation constitue un art à acquérir tout aussi bien que l'examen ophtalmoscopique ou cystoscopique ».

Lèvres. — Elles se distinguent nettement des ombres des mâchoires et donnent sur l'écran une ombre très nette. Nous voyons que l'orifice buccal est largement ouvert à la voyelle A ; avec O, il devient plus petit et avec OU, il est le plus étroit. Nous voyons aussi qu'il est plus petit pour E et I que pour A. Pour E et I, les dents se rapprochent plus que les lèvres.

Nous pouvons voir aussi sur l'écran la forme des lèvres pour les consonnes labiales.

Les mouvements des lèvres se voient évidemment sans les rayons X, mais on peut saisir beaucoup plus vite sur l'écran leurs différentes positions pour chaque lettre.

Langue. — C'est l'organe essentiel de la parole ; elle peut se mouvoir dans tous les sens, et, pour cette raison, est susceptible de modifier d'une façon très nette sa place et son image. Nous voyons sur l'écran sa forme et sa position toujours de profil.

On voit en étudiant le mécanisme de la formation des voyelles qu'avec A la langue est sur le plancher de la cavité buccale et que la partie moyenne du dos de la langue est un peu élevée. Avec I, la plus grande masse du parenchyme de la langue est contractée en forme d'un bourrelet s'approchant du palais osseux. Avec OU, on voit la masse du parenchyme contractée au-dessus de la base de la langue, formant là un gros bourrelet vis-à-vis du palais mou, tandis que la partie antérieure de la langue est abaissée. On peut très facilement rendre compte de la position différente de la langue dans la prononciation de l'OU long ou de l'OU court. Par exemple, au mot allemand *und* (*ou* court), la langue se lève moins haut et s'avance.

Avec A, la cavité buccale prend la forme d'un entonnoir ; avec E et I, la forme d'une bouteille au cou long et étroit, un peu convexe à la partie postérieure. Avec O et OU, la cavité buccale ressemble à une bouteille bombée, au cou étroit et court.

On voit bien distinctement la mâchoire inférieure, dont on peut observer les plus petits mouvements beaucoup mieux qu'à l'observation ordinaire.

Tandis qu'à l'émission des voyelles, le canal buccal n'est jamais nulle part retréci ou fermé de manière qu'un son se produise à ce point, au contraire à la prononciation des consonnes, on voit se former à certains points du canal un rétrécissement qui provoque un bruit indépendant du son de la voix parlée ou chuchotée. On peut étudier sur l'écran l'émission des consonnes aux différentes zones rétrécies. Les deux premières zones sont les plus faciles à observer. C'est d'abord l'orifice formé par la lèvre inférieure avec la lèvre supérieure ou les dents incisives.

C'est, en second lieu, l'endroit où la partie antérieure de la langue prend contact avec les dents ou le palais osseux. Nous pouvons par exemple observer exactement comment se forment les sons explosifs de la deuxième zone d'après le mouvement de la pointe de la langue ou de sa face supérieure et antérieure, devant le palais osseux et les alvéoles des dents supérieures ou les dents mêmes. Il est très intéressant d'étudier comme nous l'avons fait les variantes qui existent dans l'articulation des mêmes consonnes par les différents peuples (allemand, anglais, français).

Voile du palais. — La question du rôle du voile du palais dans la parole a occupé les physiologistes depuis des années sans qu'on soit arrivé à une conclusion définitive.

Les essais sur la position du voile du palais dans la parole ont été faits jusqu'à présent chez des sujets présentant de grosses lésions de la face, soit par suite de syphilis, soit d'une tumeur carcinomateuse permettant de regarder directement d'en haut sur le voile du palais (Gutzmann).

Mais il convient d'objecter à toutes ces observations, quel que soit leur caractère d'exactitude, qu'il semble problématique que des cas si pathologiques présentent une image tout à fait normale de la parole. Je trouve aussi exagérée cette objection de Voltolini, qui ne tient pour significatives que les expériences sur des sujets très bien portants. Chez un malade qui présente une grosse difformité du nez, il n'y a aucun obstacle à ce que la parole soit normale; mais il y a l'absence d'un obstacle véritablement nécessaire. Chez les sujets sains, le souffle respiratoire subit, comme celui qui forme les sons, un certain arrêt dans toutes les voies normales, comme la cloison des fosses nasales et les cornets. Cet arrêt ne peut pas être tout à fait sans influence sur la libre mobilité du voile du palais.

Il est à remarquer aussi que, chez les individus qui ont une large ouverture au visage, et dont le voile du palais est exposé au jour, l'action de l'air extérieur sur le voile du palais doit être tout autre que chez ceux qui ont un nez normal. Aussi voyons-nous que les auteurs qui ont fait des recherches sur ces maladies ont trouvé, pour l'élévation du voile du palais, des résultats tout à fait différents.

Si, par l'application, sur la surface supérieure du voile du palais, d'une sonde introduite par le méat du nez, on peut reconnaître les mouvements du voile du palais, ou si, chez les malades qui ont une grande difformité du visage, on peut mettre sur la face supérieure du voile du palais un appareil

à levier; je pense néanmoins qu'un corps étranger introduit dans l'espace naso-pharyngien et placé sur la muqueuse du palais peut, dans une certaine mesure, modifier les mouvements du voile. La méthode d'autres savants, comme Pieniaczeck, qui, au moyen de la rhinoscopie postérieure, ont étudié les mouvements du voile, n'est pas sans prêter aussi à beaucoup d'objections, car c'est encore l'introduction d'un corps étranger dans le pharynx, et avec ce moyen d'expérimentation, on ne peut pas donner à toutes les voyelles leur prononciation naturelle. La formation de la voyelle n'est pas complète.

Pour l'émission de l'A, l'examinateur peut librement regarder dans la cavité buccale. Pour toutes les autres voyelles, cet organe est plus ou moins caché au regard. Nous ne pouvons prononcer la bouche ouverte un OU ou un O pur.

La méthode de recherche la meilleure et la moins attaquable est l'application des rayons de Röntgen. Elle nous donne la position du voile du palais pendant la phonation directement, avec l'aide seulement de nos yeux (et c'est là le sens qu'on contrôle avec le plus de certitude). Elle permet des observations sur des sujets sains, ayant des organes normalement conformés, et dont la parole n'est pas altérée.

Elle a aussi l'avantage de servir de procédé d'enseignement pour l'étude physiologique de la parole.

Nous voyons sur l'écran que le voile s'élève très peu avec A un peu plus avec E, puis avec O, OU et enfin avec I, où il atteint son élévation maxima. Tandis qu'avec A le voile n'atteint pas le plan horizontal fictif du palais osseux, avec I, il s'élève bien au-dessus de ce plan. La forme du voile du palais comme sa position se voient aussi distinctement sur l'écran, la forme est différente d'après la voyelle. Quand on fait dire OU on voit le voile se mettre en arc convexe dans la cavité naso-pharyngienne. Mais nous ne pouvons pas reconnaître si en même temps le naso-pharynx se ferme complètement, puisque nous voyons le voile du palais seulement de côté, en profil.

Si l'on fait prononcer des consonnes (à l'exception des demi-voyelles ou des consonnes sonores), le voile se lève tout aussi haut avec I, même plus haut. On voit très bien, quand on fait prononcer un son explosif, le voile s'élever en haut pour retomber immédiatement; par exemple avec B et encore mieux avec K. Dans la prononciation des consonnes continues F, W, etc., il monte moins haut. Avec les nasales M, N, GN, le voile reste tout à fait immobile.

Dans la prononciation des explosives B, P, D, G, K, F, le canal buccal se ferme par les lèvres, la pointe ou le dos de la langue, puis s'ouvre subitement, pendant que le canal nasal reste clos. Au contraire, dans la prononciation des nasales M, N, GN, l'orifice buccal est fermé subitement par les lèvres, la pointe ou le dos de la langue, pendant que la cavité naso-pharyngienne reste ouverte. Si l'on fait prononcer les voyelles nasalement, la

cavité naso-pharyngienne reste ouverte et le voile demeure à peu près immobile.

En ce qui concerne le rôle du voile du palais dans la hauteur du son, les opinions sont partagées. Gentzen par exemple conclut de ses recherches que ni la hauteur ni l'intensité des voyelles émises n'ont la moindre influence sur le degré de l'élévation du voile du palais. Gutzmann, au contraire, a trouvé un résultat tout opposé chez sa malade.

Nous avons trouvé nous-même, au cours de nombreux examens radiologiques que nous avons pratiqués chez des sujets sains que le voile s'élevait d'autant plus que la note du son était plus aiguë (sans que la force de l'émission soit changée bien entendu). Il s'élève également quand on ne fait de l'émission que changer la force. Si on fait chanter des gammes, on voit distinctement sur l'écran comment la cavité naso-pharyngienne se rétrécit d'autant plus que le son devient plus haut.

Si, dans la production des sons, la langue, le voile du palais, les lèvres et les joues ont le rôle le plus important, il est essentiel aussi de considérer la position du larynx dans la phonation.

Au Congrès de médecine (1897) nous avons démontré (1) que l'épiglotte se voit facilement sur l'écran. L'os hyoïde est immobile, le larynx un peu élevé à l'émission de l'A. Il est moins élevé à l'émission de OU, et au contraire plus élevé à l'émission de I. Avec E, il est moins bas qu'avec I, et avec O un peu plus haut qu'avec OU. Si l'on passe de A en I, le larynx et l'os hyoïde gardent leur position mutuelle, mais ils montent tous les deux. Si l'on passe de A en OU, le larynx descend et l'os hyoïde s'avance un peu. A l'émission de A, l'espace compris entre le larynx, la base de la langue, la paroi postérieure du pharynx et le voile du palais n'est pas très large. Il s'agrandit pour E et surtout pour I. Il est le plus étroit pour OU.

Conclusions. — Il se comprend de soi-même que cette nouvelle méthode de recherches au moyen des rayons X ne remplacera jamais les autres. Mais tandis que jusqu'à présent les résultats obtenus par les savants n'étaient que les observations faites sur un sujet particulier, nous pouvons au moyen des rayons X les contrôler et faire ces recherches chez tout le monde.

Si l'on réussit à perfectionner ce procédé on peut espérer des résultats plus complets et plus certains. La méthode radiologique, en un mot, complète et contrôle les autres méthodes ; elle permet parfois de trancher de vieilles controverses.

Elle est applicable non seulement aux études physiologiques, mais elle peut, dans les cas pathologiques, nous permettre de discerner la nature des troubles.

Après mes publications les rayons X ont été employés aussi ailleurs pour

(1) Scheier, *Deutsche med. Wochenschrift*, 1897.

la physiologie de la voix et de la parole. Nous rappelons seulement les recherches intéressantes de Zwaardemaker (1).

§ 2. — Physiologie de la déglutition.

De même qu'on peut observer sur l'écran le voile du palais dans la parole, de même il nous est possible de l'étudier pendant la déglutition (2).

Pour cette étude, il faut faire avaler des aliments opaques aux rayons X pour que leur ombre se distingue des ombres avoisinantes. Le pain blanc par exemple, donne une ombre très faible ; la viande hachée et le jambon conviendront mieux. Naturellement, on voit le bol alimentaire plus distinctement quand on mélange la viande avec la poudre de bismuth, d'ailleurs inoffensive, ou avec un autre corps inerte, mais opaque aux rayons X. Nous voyons d'abord sur l'écran comment l'objet est mastiqué. On voit ces différents mouvements de la mâchoire inférieure, l'élèvement, l'abaissement et le mouvement transversal. On voit comment le bol alimentaire est poussé de dehors en dedans par les lèvres et les muscles masticateurs, et de dedans en dehors par la langue, de manière à le placer entre les arcades dentaires. L'aliment une fois formé en bouchée descend vers le pharynx et on peut voir comment il est avalé. La pointe de la langue, le dos et la base de la langue sont collés au palais osseux, et pendant que le voile du palais se lève et ferme la cavité naso-pharyngienne, la bouchée descend très rapidement vers l'œsophage. On voit distinctement la forte contraction du voile du palais lors de la déglutition. L'ombre du voile devient plus sombre, la section transversale plus large, surtout dans la partie sus-jacente à la base de la luette où s'unissent dans le palais mou les muscles pétro-salpingo-staphylins. Tout l'acte de la déglutition ne dure qu'un moment très court. Le voile s'élève surtout lorsque la déglutition se fait à vide. A ce moment, le larynx s'avance en avant et en haut pour descendre tout de suite pendant que l'épiglotte se fléchit en arrière.

Mes recherches ont été confirmées deux ans plus tard par Mendelsohn et Gutzmann (3), qui ont étudié la déglutition dans les différentes positions du corps. Ils ont aussi, pour faciliter l'examen, employé, d'après mes indications, le sous-nitrate de bismuth, qui fut mélangé avec la viande. Plus tard, ils ont employé des pralinés remplis de 1 à 2 grammes de bismuth à cause de l'inconvénient des morceaux de viande, qui s'allongeaient trop. Ils ont trouvé que la fermeture des cavités du nez par le voile du palais est toujours la même en station debout comme horizontalement ou

(1) Zwaardemaker, Over de Domineeren de Tonen der Resonantes. *Ned. Fidschrift voor Geneeskunde*, 1898, nº 20.

(2) Scheier, *Archiv. internat. de laryngologie*, 1898, p. 87.

Scheier, *Drasche's Encyclopædie der med. Wissenschaften*, p. 586.

(3) Mendelsohn et Gutzmann, *Deutsche med. Wochenschrift*, 1899, nºs 44-47.

verticalement, la tête en bas. De même, leurs recherches radiographiques ont montré distinctement qu'au moment de la déglutition la fermeture de l'orifice du larynx est complète dans tous les cas sans exception, grâce au renversement de l'épiglotte pressée par la base de la langue.

Signalons pour terminer les recherches faites par Cannon et Moser (1) sur la déglutition chez l'homme et les animaux. Ils ont, eux aussi, employé le bismuth mêlé au bol alimentaire.

1898

(1) Cannon et Moser, *Americ Journal of Physiologie*, vol. I, p. 435. Cf. aussi Eykman, *Fortschritte auf d. Gebiete de Röntgenstralhen*, 1902, p. 347.

CHAPITRE IV

PATHOLOGIE MÉDICALE ET CHIRURGICALE

Je ne traiterai pas ici la question de corps étrangers étudiée dans un autre chapitre.

§ 1. — Examen des cavités au point de vue pathologique.

Déjà au Congrès des naturalistes à Francfort-sur-Mein (1), nous avions montré que les rayons X nous offrent un moyen simple et rapide d'examiner les cavités accessoires du nez.

C'est surtout le sinus frontal qui ressort en ombre claire de son entourage sombre. Dans certains cas, il apparaît nettement de profil sous forme d'un triangle presque rectangle se détachant en ombre claire. De cette manière, on peut reconnaître exactement si le sinus frontal existe chez l'individu à examiner, et on peut voir sa hauteur et sa profondeur en arrière, ainsi que l'épaisseur de sa paroi antérieure.

Jusqu'à présent nous n'avions aucun moyen de savoir d'une façon absolue si le sinus existait ou non chez un sujet donné. Il n'était pas rare de diagnostiquer, en présence d'une suppuration du nez, l'existence de sinusites, alors qu'une opération consécutive démontrait l'absence du sinus. On voit donc toute l'importance de la radiographie, pour la rhino-chirurgie.

Pendant l'examen, il faut faire attention que le tube soit toujours placé sur la normale au plan d'examen passant sur le milieu de la cavité à examiner et que la distance de la source de lumière soit exactement établie : autrement, l'image d'ombre sera déformée et pourra induire en erreur. On voit sur l'écran surtout le sinus droit, quand le côté gauche est tourné vers l'ampoule et le droit vers l'écran.

Le désavantage de l'éclairage sagittal est naturellement l'impossibilité de

(1) Scheier, *Archiv. f. Laryngologie*, Bd VI, Heft I.

voir chaque cavité seule, parce que les rayons traversent les deux cavités en même temps, mais les contours de celle qui se trouve le plus près de l'écran se détachent plus nettement. Naturellement, il est impossible avec cette incidence d'établir le diamètre transversal du sinus. Si l'on éclaire la tête d'arrière en avant, on ne voit que très mal le sinus à cause de l'imperméabilité de la cavité cranienne. Mais on arrive par la radiographie, en mettant la figure contre la plaque, à distinguer les deux cavités séparées, à les comparer et à établir le diamètre transversal de chacune d'elles.

Il se comprend de soi-même que nous ne pouvons connaître exactement au moyen des rayons X la grandeur mathématique de ces cavités. La tache blanche de l'épreuve ne correspond pas toujours à la grandeur du sinus frontal. En effet, tantôt elle est couverte par l'opacité exceptionnelle des os qui l'environnent, tantôt sa clarté est augmentée ou étendue à cause de la transparence des cellules ethmoïdales. Flatau (1) est aussi de notre avis, que l'examen radiologique permet de résoudre assez exactement la question de l'existence et de la grandeur des cavités accessoires du nez.

Il est très difficile de diagnostiquer par les rayons X les suppurations des cavités accessoires. Si l'on compare les deux cavités et que l'on constate une différence dans leur clarté relative, il faut se garder de conclure trop vite à l'existence d'un empyème. En changeant la position ou la distance de la source parfois de quelques centimètres seulement, on peut voir l'aspect changer complètement. Il n'est pas facile non plus de comparer sur l'écran par la mémoire la clarté des cavités observées sagittalement, d'abord d'un côté, ensuite de l'autre. Il faut ajouter que les deux côtés de la face ne sont pas toujours symétriques et que les parois n'ont pas la même épaisseur à droite et à gauche.

En examinant avec méthode chez des individus sains les sinus maxillaires et les sinus frontaux, le plus souvent nous n'avons pas reconnu de différence de clarté à droite et à gauche. Dans certains cas, j'ai constaté cependant une différence évidente dans l'image d'ombre, alors même qu'on était sûr qu'une suppuration n'existait pas.

De même que l'éclairage des sinus par une lampe à incandescence ne peut être un moyen diagnostique absolu pour décider si la cavité à examiner est normale ou malade, de même les rayons X exposent à de fausses interprétations, mais ils apportent un moyen de contrôle au diagnostic fait déjà par les moyens cliniques ordinaires. Si nous croyons avoir constaté à l'aide des autres méthodes un empyème, et que nous voyions du côté que nous supposons malade l'ombre de la cavité plus foncée que celle du côté sain, c'est là une confirmation de notre diagnostic. Telle est aussi l'opinion de Rosenberg. Par contre, si tous les signes cliniques font défaut, la différence d'ombre observée par les rayons X ne peut qu'éveiller nos soupçons.

On voit distinctement sur l'écran comment les dents pénètrent dans les

(1) Flatau, *Verhandlungen der laryngolischen Gesellschaft*, Bd VIII, p. 31.

sinus maxillaires, aussi peut-on, lorsqu'il y a suppuration de l'antre, constater son origine dentaire et décider laquelle des mauvaises dents doit être extraite pour ouvrir du même coup la cavité du sinus (1). Pour éclairer chaque cavité séparément, Macintyre (2) recommande d'appliquer de petits écrans dans la bouche. Nous (3) avions presque en même temps essayé le même procédé. Un petit écran carré de 2 à 3 centimètres de côté, recouvert de celluloïde sur ses deux faces, est appliqué contre le palais osseux, tandis que l'ampoule se trouve dans la région du front. Au moyen d'un simple miroir laryngien, on peut examiner l'image. Cette méthode ne nous a d'ailleurs donné de succès pratique que pour la recherche de corps étrangers. L'endodiascopie est appelée à rendre ici des services.

§ 2. — Application à la médecine opératoire. Sondage des cavités.

Les rayons X sont utiles aussi pour trancher la question du sondage des cavités du nez chez les sujets vivants. Les opinions sont très partagées sur cette question. Tandis que les uns prétendent que le sondage par la voie naturelle peut se faire chez la plupart des sujets, d'autres regardent cette opération comme des plus difficiles, sinon impossible. Même sur le cadavre, plusieurs expérimentateurs n'ont pas réussi à introduire la sonde dans le sinus frontal. Ajoutons d'ailleurs que jusqu'à présent on n'était jamais sûr que la sonde avait réellement pénétré dans le sinus et qu'elle ne s'était pas égarée dans des prolongements des cellules ethmoïdales vers les parties tout à fait supérieures. En effet, nous n'avons pas de méthode irréprochable et sûre pour prouver que ce sondage sur le vivant avait réellement été pratiqué avec succès. Je ne parle pas des quelques cas où le sinus frontal s'ouvrait par devant. Ce n'est que l'éclairage de la tête au moyen des rayons X (4) qui nous permet d'établir avec certitude et précision que la sonde est bien arrivée à destination. On voit sur l'écran distinctement et clairement la sonde dans le sinus. On peut lui faire prendre dans cette cavité toutes les directions tout en suivant ses mouvements sur l'écran. On s'aperçoit forcément ainsi si elle a pénétré dans les cellules ethmoïdales. On peut facilement pousser la tête de la sonde jusque contre le toit du sinus frontal et explorer avec elle toutes ses parois. Dans quelques cas nous croyions avoir pénétré dans le sinus à cause du mouvement en avant de la sonde lorsque nous abaissions son talon, et il nous semblait l'avoir introduite de 7 centimètres. L'examen radioscopique nous prouva que nous n'étions pas du tout dans le sinus, mais dans une des cellules de l'ethmoïde. Nous

(1) Scheier, *Berlin. kl. Wochenschrift*, 1897, n° 29.
(2) Macintyre, *Journal of laryngology*, 1896, n° 5.
(3) Scheier, *Archiv italian di laringologia*, 1897.
(4) Scheier, *Wiener med. Presse*, 1898, n° 10.

n'avons donc pas été aussi heureux que Cholewa, qui estime que dans 60 p. 100 des cas le sondage est non seulement possible, mais même facile. Par contre, on peut contester l'opinion d'autres auteurs qui regardent le sondage de cette cavité comme impossible sans blessure.

Nous avons, sans choisir les sujets, trouvé que le sondage était facile dans 5 cas sur 30. Je poursuivrai les recherches à cet égard pour voir si cette proportion reste la même. Dernièrement a paru un ouvrage de Glatzel (1) sur le sondage du sinus frontal. Il est aussi d'avis que si l'on veut être bien renseigné sur la position de la sonde dans le sinus, on doit faire l'examen radioscopique. Cet examen doit être pratiqué aussi lorsqu'on explore le sinus sphénoïdal; car la sonde s'égare souvent dans les cellules postérieures de l'ethmoïde.

Spiess (2) a employé les rayons X pour l'ouverture endo-nasale du sinus frontal. La méthode de Schaeffer était incertaine et périlleuse, parce que nous ne pouvions nous rendre compte des dimensions du sinus frontal. Actuellement, nous le pouvons à l'aide des rayons X. Cet inconvénient tombant de lui-même, la méthode reprend tous ses droits. Et l'on peut dans la trépanation du sinus suivre sur l'écran la marche et les mouvements du perforateur (à moteur électrique) introduit dans le nez. Spiess recommande d'introduire le trépan avec éclairage ordinaire, et quand il est arrivé à l'os du nez, où il rencontre de la résistance, on se sert de l'écran fluoroscopique après avoir fait l'obscurité de la pièce. On peut voir à chaque moment si l'on opère trop en arrière, trop en avant, si l'on s'éloigne de la cavité où si l'on est déjà dedans. Spiess n'a pas perforé le sinus à l'endroit indiqué par Schaeffer, mais plus en avant. Par cette ouverture on peut faire un nettoyage à fond de toute la cavité. Ainsi le traitement de l'empyème des sinus frontaux pourrait rentrer dans la rhinologie courante même dans les cas graves qui étaient l'apanage de la grande chirurgie. Avec les appareils nécessaires, cette méthode simple et rapide présente la plus grande sécurité. Spiess a de cette manière opéré 3 cas. Cette méthode lui a aussi rendu des services pour l'ouverture de la cavité sphénoïdale.

Dans un autre ouvrage, Spiess (3) parle de 8 cas opérés de la même manière. Malgré cela, il est très réservé en jugeant cette méthode, parce que les résultats thérapeutiques obtenus n'étaient pas précisément favorables. Au point de vue diagnostic, il le place à côté de la ponction de l'antre d'Highmore. Au point de vue thérapeutique, il met en première ligne l'ouverture endo-nasale du sinus sous le fluoroscope, et, si l'on échoue, il conseille d'ouvrir par voie extérieure, lorsque la gravité du cas justifie les risques de cette opération.

(1) Glatzel, *Fraenkel's Archiv für Laryngologie*, Bd XI, Heft I, p. 157.
(2) Spiess, *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*, Bd I.
(3) Spiess, *Fraenkel's Arch. für Laryngologie*, Bd IX, 1899, p. 285. Cf. aussi Winckler, *Fortschr. auf. d. Geb. der Röntgenstrahlen*, 1902, p. 155.

§ 3. — Tumeurs.

Les rayons X peuvent aussi servir à diagnostiquer des tumeurs et à déterminer leur grosseur et leur forme. Grunmach (1) a pu établir en plusieurs cas douteux, dans la région de l'antre d'Highmore, le diagnostic de tumeurs qui de là fusaient dans les cavités avoisinantes. Des radiographies faites des deux côtés de la tête montraient l'affection unilatérale, ce qui fut prouvé plus tard par l'opération.

Par la radiographie mieux que par la radioscopie, on peut voir dans ses débuts le processus d'envahissement d'une tumeur maligne de l'antre vers le voisinage, ainsi on peut plus facilement faire le diagnostic et décider de l'opération. Dans un cas de sarcome du sinus maxillaire droit, Meyer (2) a fait faire une radiographie pour établir son degré de développement. On a vu ainsi qu'il avait déjà envahi la base de l'orbite, ce qu'on n'avait pas encore pu établir par la palpation. Büttner et Müller (3) ont employé les rayons X pour l'étude d'un sarcome de la mâchoire supérieure. Ce sarcome avait amené un gonflement considérable de la mâchoire. Aux rayons X, cette région était transparente comparativement à l'autre côté, comme s'il y avait eu un trou en cet endroit.

Curtis (4) a fait une radiographie d'un ostéome dans l'antre gauche. Encore dernièrement, Paul Heymann (5) a montré à Berlin (*Laryngologische Gesellschaft*), un sciagramme très instructif d'un ostéome du nez chez un garçon de treize ans, qui, reproduit stéréoscopiquement, montrait très bien les prolongements de la tumeur. Embden (6) a employé les rayons X pour l'étude de l'acromégalie. On voyait très distinctement le changement acromégalique du squelette de la face, surtout de la mâchoire inférieure. Giulio Obici et Bollici (7) ont pu constater au moyen des rayons X l'existence d'une grosse tumeur intracranienne sarcomateuse dans le lobe temporal d'un individu mort, cette radiographie ayant été faite avant l'autopsie.

Sur les radiographies de la tête qui ont été prises dans les positions différentes, on voit des ombres distinctes ayant la forme de la tumeur, ombres qui manquent dans les radiographies de têtes normales et faites dans des conditions identiques d'expérimentation. L'autopsie a confirmé l'exactitude des résultats radiographiques.

Si on examine au moyen des rayons X, chez des enfants, la cavité naso-

(1) Grunmach, *Fortschritte auf dem Gebiete der Röngenstrahlen*, 1898, p. 76.
(2) Meyer, *Annales des maladies de l'oreille et du larynx*, 1899, p. 310.
(3) Buttner et Müller, *Technik ünd Verwertung der Röntgenstrahlen*, 1897, p. 111.
(4) Curtis, *Laryngoscope*, août 1899.
(5) Heymann, *Berlin. klinische Wochenschrift*, n° 5, 1901.
(6) Embden, *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*, Bd II, p. 18.
(7) Giulio Obici, *Rivista di patologia nervosa mentale*, vol. II, Heft 10, 1897. Cf. aussi : Mill et Ofahler, *Philadelphia med. Journ.*, 1902, 8 fév., et Benedikt, *Deutsche med. Wochenschrift*, 1902, n° 23.

pharyngienne lorsqu'elle renferme des végétations, on voit en cet endroit une ombre plus foncée que chez des individus normaux.

Après leur extirpation, cette ombre disparaît sur l'écran. Mignon a dit dans sa thèse (1) : « Nous ne conclurons pas que l'éclairage des rayons Röntgen est destiné à remplacer la rhinoscopie postérieure et le toucher digital, mais c'est un procédé adjuvant que, dans certaines circonstances, on pourra employer. »

§ 4. — **Fractures.**

Nous avons aussi employé avec grand avantage les rayons Röntgen pour l'examen des fractures des os de la face, surtout des mâchoires. Dans un cas de nécrose de la mâchoire inférieure (2), on pouvait exactement voir sur le sciagramme l'étendue de la destruction. Il y a des cas rares toujours de fractures de mâchoires dont le diagnostic présentait les plus grandes difficultés avec les anciennes méthodes de recherches. Quelquefois même le palper ne permet d'arriver à aucun diagnostic alors que, cependant, il est d'une importance capitale pour le traitement de déterminer exactement la place des fragments.

Quant aux applications thérapeutiques des rayons X aux affections de la face, nous ne pouvons que renvoyer pour leur étude au chapitre qui en traite spécialement.

(1) MIGNON, *Étude anatomo-clinique de l'appareil respiratoire par les rayons de Röntgen.* Paris, 1898.

(2) SCHEIER, *Verhandlungen der berliner laryngologischen Gesellschaft*, 1896, 4 déc.

CHAPITRE V

OTOLOGIE

L'emploi pratique des rayons X n'a pas été jusqu'à présent d'une très grande importance pour l'otologie, et l'on n'a pas lieu encore d'espérer beaucoup de ce mode d'investigation. En regardant nos différents sciagrammes, on voit que, chez le sujet vivant et même dans le crâne sec, la région de l'oreille est entourée d'une obscurité presque uniforme.

Dans les radiographies *in vivo* nous ne voyons que le méat auditif externe sous forme d'un trou rond. Parfois nous pouvons, si les reproductions sont très réussies, discerner les cellules de l'apophyse mastoïde. Ce n'est que chez les enfants de la première année, surtout des premières semaines que nous arrivons à montrer les canaux semi-circulaires.

Nous avons déjà expliqué dans la partie embryologique que chez les fœtus les canaux semi-circulaires, les osselets de l'ouïe, etc., sont distinctement visibles même sans injection.

J'ai déjà montré des exemples de ces radiographies à la Société laryngologique de Berlin en 1896. Mais quand l'ossification fait des progrès et que le rocher devient plus fort et plus épais, on ne reconnaît plus rien du labyrinthe, même chez le sujet mort.

Les cellules de l'apophyse mastoïde se montrent plus ou moins distinctement.

Pour obtenir des radiographies des cavités de l'oreille interne nous voyons, d'après nos reproductions, qu'on n'a pas besoin de préparer d'avance l'os temporal des fœtus ou des enfants de la première année.

Au contraire, pour voir les canaux semi-circulaires chez les individus plus âgés il faut introduire, dans les cavités de l'oreille interne une masse impénétrable aux rayons X, par exemple, du minium, de l'onguent gris, etc.

J. Brühl (1) remplissait les cavités du labyrinthe osseux avec du mercure. On obtient ainsi une vue générale de la structure et de la conformation

(1) Brühl, *Anatomischer Anzeiger*, XIII, 3; XIV, 9, 16, und *Arch. für Ohrenheilkunde*, Bd XLVI, p. 116.

du labyrinthe osseux et on voit en même temps la distribution de la substance osseuse qui se trouve dans l'os temporal en partie spongieuse, en partie compacte. On voit aussi le trajet de l'aqueduc cochléaire. Seulement le limaçon se distingue mal, ses circonvolutions se projetant les unes sur les autres.

On obtient des vues générales de l'oreille moyenne en injectant du mercure par la trompe d'Eustache. On peut aussi se servir de cette méthode pour faire des études d'anatomie comparée.

Guilloz et Jacques (1) nous donnent des radiographies très instructives sur ces cavités après avoir fait des injections avec une masse métallique. Par la stéréoscopie on augmente encore l'effet frappant de ces images.

En ce qui concerne les fractures de l'os temporal, Gruber (2) en a présenté une radiographie intéressante dans un cas où il ne voulait pas détruire une préparation intéressante.

Politzer (3) nous cite un cas très intéressant relatif au *diagnostic des blessures de l'oreille par arme à feu.* Un jeune homme avait reçu (il y a cinq ans) dans l'oreille une balle de revolver. Elle avait pénétré par le conduit auditif externe dans l'os temporal. Immédiatement se montrait une paralysie faciale, l'oreille de ce côté était frappée de surdité. Après cela survenait de l'otorrhée prolongée et, depuis un an, une fistule à la partie interne du conduit auditif osseux. La radiographie démontra que le projectile oblong se trouvait à la base du rocher. Dès lors, on pouvait l'extraire si le sujet voulait se soumettre à l'opération.

Grossard (4) nous parle aussi d'une blessure des deux oreilles par une balle chez un sujet de cinquante-neuf ans. La position de la balle fut découverte par les rayons X.

Wassmund (5) a employé la radiographie dans un cas d'*ossification du pavillon de l'oreille*, cas très rare, on le sait. A la suite d'une congélation s'étaient formées, dans le pavillon de l'oreille, des bosselures dures comme des os. Sans examen microscopique, on a pu établir le diagnostic de l'ossification au moyen des rayons X. Il était surprenant de voir avec quelle finesse la radiographie faite par Stechow rendait les différents îlots osseux. Elle faisait voir distinctement les différents foyers osseux qui étaient très difficiles à relever par la palpation.

(1) Guilloz et Jacques, *Revue hebdomadaire de laryngologie*, 1899, n° 2.
(2) Gruber, *Monatsschrift für Ohrenheilkunde*, 1897, p. 174.
(3) Politzer, *Monatsschrift für Ohrenheilkunde*, 1899, p. 579.
(4) Grossard, *Archiv. internat. de laryngologie*, 1900, p. 161.
(5) Wassmund, *Deutsche med. Wochenschrift*, 1899, n° 27.

CHAPITRE VI

ODONTOLOGIE

§ 1. — Généralités.

Historique. — Lorsqu'on a commencé à employer les rayons X en médecine, on ne les a que peu appliqués à l'odontologie. Plus tard, les travaux se multiplièrent en Angleterre et en Amérique surtout, de sorte qu'il existe déjà toute une littérature sur la question.

En Allemagne, les premières radiographies de dents furent présentées à la Société de physique de Francfort-sur-le-Mein, en février 1896, par le professeur Kœnig. Elles prouvèrent que les dents étaient nettement visibles, malgré leur entourage osseux, regardé alors comme impénétrable aux rayons X. En avril 1896, au Congrès d'Erlangen, Walkhoff montra de nombreuses radiographies prises *in vivo* ou sur les os secs. Au mois de juin de la même année parut le travail de Morton (The X rays and its application in dentistry, *Dental Cosmos*, numéro de juin). Il y développe tout le profit que peut tirer l'art dentaire de la nouvelle découverte.

Technique. — Si l'on place le sujet en position sagittale avec incidence latérale, les dents apparaissent nettement quand le crâne est divisé en deux moitiés symétriques. Il n'en est plus de même quand la tête est entière, parce que, en ce cas, les ombres d'un côté se mêlent à celles de l'autre. On n'évite qu'en partie cet inconvénient par l'incidence oblique, en faisant, par exemple, pencher la figure vers l'épaule gauche lorsqu'on veut examiner le côté gauche de la mâchoire inférieure. Un autre désagrément de la méthode ordinaire est que le maxillaire, en raison de sa courbure, s'applique mal sur la plaque, d'où la déformation et le vague des parties éloignées.

Aussi une technique spéciale est-elle nécessaire.

Voici celle que nous avons employée : Pour obtenir une radiographie des dents d'un côté, on met la plaque non pas à l'extérieur, mais dans la cavité buccale, sur la face interne de la mâchoire. On irradie de dehors en dedans.

Les plaques ordinaires en verre ne sont pas très appropriées à cette opération à cause de la difficulté qu'il y a à les couper de la grandeur voulue, et à cause aussi des blessures qu'elles peuvent occasionner. C'est pourquoi nous employons presque exclusivement les pellicules. Elles sont faciles à manier, se laissent couper avec des ciseaux ordinaires sans que la couche d'émulsion ait à en souffrir; elles s'appliquent exactement contre la courbure du maxillaire, en raison même de leur souplesse. On a soin de couper et d'arrondir les coins.

Il est naturellement impossible de reproduire toute la mâchoire en une seule fois. On la prend par fractions. Ordinairement on n'obtient avec netteté que quelques dents. Aussi est-il inutile d'employer des pellicules de plus de 2 à 3 centimètres. Avec des pellicules plus grandes, les parties extrêmes sont déformées et peu nettes (comme dans la fig. 2, pl. VI). Il est indispensable de placer le milieu de la pellicule bien en face de la partie intéressante. D'ailleurs, il est bon de toujours couper un morceau de papier de la grandeur présumée du cliché, et de l'essayer et le modifier sur place. En chambre noire, on coupera une pellicule de la même grandeur. On enveloppe cette pellicule de trois ou quatre épaisseurs de papier noir, puis de gutta-percha ou de parchemin. Cette dernière précaution est d'autant plus utile que la présence même d'un corps étranger dans la bouche excite la sécrétion salivaire.

On a fabriqué plusieurs genres d'appareils pour fixer les plaques dans la bouche. Celui de Williams Rollins (1) semble être le plus pratique. Il a la forme d'un spéculum oris, dont on enlève le miroir pour mettre à la place une capsule qui recevra la pellicule. Cette capsule se ferme hermétiquement, grâce à une plaque d'aluminium et un anneau de caoutchouc. L'inconvénient est qu'il faut fixer l'appareil à la tête au moyen de courroies.

Le malade est placé sur un lit radiologique, ou sur une chaise de dentiste. En ce dernier cas, l'appui pour la tête facilite l'immobilisation. On fait ouvrir la bouche du patient, on applique la pellicule contre la gencive et un assistant appuie fortement sur elle avec le pouce et l'index, en faisant attention de ne pas laisser ses autres doigts s'interposer entre le tube et l'objet. Il est bon d'avoir un appui-bras pour éviter les mouvements involontaires de l'assistant. On peut au besoin opérer sans aide. C'est ce que j'ai fait pour la plupart de mes radiographies; d'une main je fixe la pellicule, de l'autre je commande mes appareils. On peut aussi maintenir la plaque par la simple pression des mâchoires.

La radiographie des dents du maxillaire supérieur présente plus de difficultés que celles du maxillaire inférieur, car là, en arrière des racines, se trouve la masse épaisse des os du palais et il est impossible, surtout pour les dents de côté, de placer la plaque parallèlement derrière les racines. Plus la voûte est plate et plus on rencontre naturellement de difficultés. Ce n'est

(1) Rollins, *Intern. dental Journal*, 1896, p. 497.

qu'avec les voûtes très hautes qu'on peut opérer convenablement, c'est-à-dire avoir la plaque à peu près parallèle au plan d'examen. Les voûtes très plates forcent à incliner la plaque de plus de 45° sur ce plan. De là la déformation de la racine, qui paraît très allongée. C'est pourquoi nous obtenons de bonnes épreuves des dents inférieures et même des incisives et prémolaires supérieures, tandis que même sur l'os sec les molaires supérieures ne donnent que de mauvaises épreuves.

La radiographie des dents *in vivo* est, bien entendu, moins nette que celle des pièces préparées. Notons ici que lorsque la plaque doit être appliquée dans le fond de la bouche, le contact du palais mou peut provoquer des nausées si l'on n'a pas la précaution de badigeonner la muqueuse avec une solution de chlorhydrate de cocaïne. La distance du tube que nous avons adoptée a toujours été de 50 à 80 centimètres, et nous nous efforçons de faire tomber les rayons normalement sur la plaque. Le temps de pose varie suivant la région. Ainsi, il est plus long au niveau du gonion, où la musculature est épaissie. Il varie de l'instantané à quelques secondes et même quelques minutes. Généralement, cinq à vingt secondes m'ont suffi pour tous les cas.

L'examen radioscopique peut être aussi pratiqué. Alors on se sert de petits écrans de platino-cyanure de baryum introduits dans la bouche. Pour l'examen des dents inférieures, qui ne peut être fait directement, Port (1) a fait ajouter un petit miroir à l'écran.

Une autre méthode consiste à introduire des tubes spéciaux dans l'intérieur de la cavité buccale et à mettre l'écran ou la plaque à l'extérieur. Je n'insiste pas sur ce procédé, qui doit être décrit complètement ailleurs par l'auteur de la méthode, le docteur Bouchacourt.

Aspect des images. — Si nous examinons la radiographie des différentes dents, nous voyons que l'émail et la dentine se différencient nettement. L'émail donne une ombre plus foncée à cause de sa structure compacte. On ne voit aucune différence entre le cément et la dentine. Mais la cavité de la pulpe est très nette.

Il est inutile d'ajouter que les remplissages métalliques se voient aussi très distinctement.

Nous avons fait observer déjà que les dents se voient au milieu de leur entourage osseux et que ce résultat a pu quelque peu surprendre, mais cela n'a rien d'étonnant, si l'on remarque que le tissu alvéolaire est essentiellement spongieux et moins dense que le tissu dentaire dur et opaque.

Cela dit, nous allons passer en revue les différentes applications de la radiologie à l'odontotechnie.

(1) Port, *Correspondenzblatt für Zahnärzte*, 1899, p. 336.

§ 2. — Applications de la radiologie à l'odontotechnie.

Structure des dents. — La cavité pulpaire étant très distincte, il est facile d'étudier sa conformation sans ouvrir la dent : immense avantage si l'on songe que des pièces pathologiques rares ont été détruites par le sciage et le morcelage.

La fusion de deux dents voisines n'est pas rare, aussi bien dans la première que dans la deuxième dentition. Port parle d'une anomalie de ce genre où l'examen direct faisait croire à la soudure de deux dents (incisives médiane et latérale supérieures gauches), alors que la radiographie montra qu'il s'agissait de trois dents, deux normales et une surajoutée soudées ensemble, et dont les pulpes étaient nettement visibles.

Évolution des dents. — Les rayons X nous donnent aussi de précieux renseignements sur le développement des dents, qui, on le sait, commence au 2e mois de la vie embryonnaire. A ce moment se forme dans le tissu celluleux, par invagination de l'épithélium buccal, une bande lisse d'abord, puis ensuite marquée d'autant d'épaississements qu'il y aura de dents. Ces épaississements en forme de gourde deviennent l'organe adamantin à la base duquel se développe la papille qui soulève au-devant d'elle le fond de la gourde (10e semaine). De ces deux parties dérivent la dentine et l'émail. Au 5e mois, les rudiments dentaires ont déjà la forme particulière à chaque groupe de dents. Ensuite commence la calcification.

La calcification, facile à étudier avec les rayons X, commence par la couronne, et quand la couronne a plusieurs cuspides, elle commence par les cuspides externes. Le premier rudiment de la calcification constitue l'écaille dentaire embryonnaire, petite plaque mince d'aspect osseux. C'est donc la surface de mastication qui se calcifie la première, puis le reste de la couronne, et, beaucoup plus tard, la racine, qui reste longtemps courte et largement ouverte.

La calcification commence par les incisives médianes, les incisives latérales, puis les molaires temporaires antérieures, les canines, et, en dernier lieu, la seconde molaire temporaire.

La figure 5 (fœtus de 7 mois), par exemple, nous montre distinctement les fines cuspides des incisives calcifiées. Au 8e mois embryonnaire, on voit toutes les couronnes calcifiées. On conçoit toute l'importance de cette étude, si facile à faire par la radiologie, au point de vue de la médecine légale, pour déterminer l'âge d'un enfant. Si la radiographie nous montre la canine et la 1re molaire en voie de calcification, on peut conclure que l'enfant est entré dans le 7e mois.

La calcification des dents permanentes ne commence que peu de temps avant la naissance (1res grosses molaires, puis incisives, puis canines, etc.).

La radiographie nous permet d'assister à toutes ces phases de l'évolution dentaire, jusque dans ses détails intimes, alors qu'autrefois il fallait procéder

par les moyens histologiques les plus délicats. Elle nous donne *in vivo* le degré du travail de développement. Elle nous indique les rapports des dents de lait et des dents permanentes.

Nous donnons ici seulement des radiographies d'os secs pour que le clichage conserve à l'image sa netteté (pl. VI).

La figure 1 provient de la mâchoire inférieure d'un enfant de 1 mois (région postérieure d'un côté). On voit nettement que les couronnes des deux molaires de lait sont déjà calcifiées dans leur partie supérieure. On distingue très bien les cuspides et on peut se rendre compte que la calcification commence par les zones latérales de la couronne. Les sacs dentaires se détachent nettement. La racine manque encore complètement. Derrière ces deux dents, près de l'apophyse coronoïde, se voient les rudiments des premières molaires persistantes, dont quelques pointes commencent à se calcifier, et où l'on distingue déjà des écailles au niveau des surfaces masticatrices.

La figure 2 montre la même mâchoire dans sa partie médiane, les incisives moyennes sont déjà sorties des alvéoles et près de percer. Les parties latérales de cette figure ne sont plus très nettes, mais déformées. Les couronnes sont déjà complètement calcifiées. On ne voit rien des dents persistantes.

La figure 3 provient d'une enfant de deux ans et demi. Elle montre la mâchoire inférieure dans la région des molaires. La première et la deuxième molaire de lait sont déjà sorties. Au-dessous, on voit très bien les rudiments des dents persistantes. La première molaire persistante est déjà très fortement calcifiée dans sa couronne. Au-dessus des premières molaires temporaires inférieures, on voit une partie de la couronne des molaires temporaires supérieures.

Les figures 4 et 5 sont du même enfant. La figure 4 montre la région des dents canines; la figure 5, le milieu de la mâchoire inférieure. On voit très bien la position des rudiments des dents permanentes, de la dent canine, en particulier, qui dans sa couronne est déjà calcifiée. On voit aussi que la racine des incisives persistantes ne donne qu'une ombre claire sur le sciagramme, ce qui prouve que le collet et la couronne seuls sont calcifiés. Les dents de lait sont comme chaussées par l'accroissement des dents persistantes et à mesure que se développent les racines de ces dernières, les dents de lait se soulèvent et tombent.

Les figures 6, 7, 8, 9 proviennent d'un enfant de six ans. Ici la couronne de la deuxième prémolaire permanente est placée irrégulièrement. Son plan est incliné fortement. La première molaire est déjà sortie de son alvéole, sa racine ne s'est pas encore tout à fait calcifiée. En arrière se trouve, encore profondément enterrée dans la mâchoire, la deuxième molaire, dont la couronne a commencé à se calcifier. L'incisive temporaire médiane est déjà tombée du côté gauche. La mâchoire supérieure montre la position des dents permanentes, ainsi que les temporaires existantes.

Si nous comparons les incisives aux différentes périodes de l'évolution dentaire, nous voyons que les dents de lait s'éloignent l'une de l'autre avec l'âge. Très serrées chez l'enfant de deux ans et demi, elles se sont séparées chez l'enfant de six ans. Cet agrandissement des espaces interdentaires est une preuve que, la première dentition achevée, la région des mâchoires où se trouvent les dents de lait s'agrandit encore.

Les figures 10, 11, 12, 13 proviennent de la mâchoire d'une enfant de onze ans. La figure 10 montre que la première molaire permanente est complètement sortie, mais la deuxième molaire, dont la couronne s'est déjà calcifiée, est encore complètement cachée dans la mâchoire inférieure. Dans les molaires temporaires, les cavités des pulpes sont très distinctement visibles ; elles le sont aussi d'ailleurs dans les molaires permanentes. La couronne bicuspide des dents permanentes est engagée dans les racines des dents de lait comme entre les mors d'une pince. La couronne et le collet des prémolaires persistantes sont complètement formés. La figure 10 permet d'étudier les rapports du canal mandibulaire et de l'alvéole de la molaire permanente. Sur la radiographie des incisives nous voyons que les incisives permanentes sont déjà tout à fait sorties, que la racine de l'incisive latérale intérieure n'est pas encore calcifiée et que la dent canine temporaire existe encore au-dessus de la canine permanente (fig. 12).

La figure 1 de la planche V montre chez un garçon de huit ans les positions relatives des dents permanentes et des dents temporaires du maxillaire supérieur. On peut aussi étudier ces rapports sur les autres radiographies de têtes faites sur le squelette ou *in vivo*.

Nous voyons comment les molaires supérieures se forment et se développent dans la tubérosité du maxillaire. La première molaire descend d'abord jusqu'au niveau des autres dents. Au-dessus d'elle, dans la tubérosité, se développe la deuxième molaire. Après que celle-ci a pris place dans le rang des autres dents, se forme dans la tubérosité maxillaire la troisième molaire qui, par conséquent, descend la dernière dans le processus alvéolaire.

Anomalies dentaires. — Les rayons X sont aussi précieux pour diagnostiquer *l'existence* ou le *manque de germes dentaires* et leur position dans la mâchoire.

Ceci est important pour l'étude des anomalies des dents quant à leur position et quant aux irrégularités de leur éruption, aussi bien pour les dents temporaires que pour les permanentes. Pour réussir dans le traitement de tels cas, un diagnostic précoce est très désirable.

La permanence des dents de lait est relativement assez rare, mais elle se voit cependant. Il y a à cela plusieurs raisons. Ou bien les dents persistantes manquent complètement ou elles sont mal développées, ou bien elles sont bien développées, mais dans une position anormale. Il peut arriver que les dents aient percé dans un autre endroit, ou dans l'antre ou dans la cavité du nez, par exemple.

Jusqu'à présent on rencontrait les plus grandes difficultés pour diagnostiquer ces cas. Au moyen des rayons X on peut tout de suite être renseigné sur ces anomalies.

Benedikt (1) a eu l'occasion d'examiner deux cas d'absence congénitale des dents incisives et a pu, par l'examen radiologique, constater dans les deux cas que les bulbes dentaires n'existaient pas.

Il faut ici citer encore des cas d'anomalies publiés par Gourg (2), Schaeffer-Stuckert (3), Chauvin et Allard (4), Geist-Jakobi (5), M. Lipschitz (6).

Pietkiewicz (7) montre des radiographies très intéressantes à ce sujet dans un ouvrage remarquable. Dans un cas il s'agit d'une persistance des canines temporaires et d'une évolution des canines définitives dans la voûte palatine, chez un jeune homme de dix-neuf ans. Il y avait à se demander s'il s'agissait là d'un retard de dentition ou de l'atrophie, de l'absence des follicules des canines persistantes. La radiographie apprit que les deux canines définitives étaient complètement développées, mais en hétérotopie ; qu'elles étaient placées horizontalement dans la voûte palatine, l'une de forme normale, l'autre déformée. Elles étaient placées de telle sorte qu'aucune saillie n'indiquait leur présence dans la mâchoire. Dans les cas de retard d'évolution, nous pouvons aller à la recherche du rudiment dentaire ou de la dent plus ou moins développée et donner avec certitude des pronostics sur la dentition à venir.

La méthode radiologique est surtout précieuse pour l'examen des *dents de sagesse*, si souvent anormales. Elle permet de voir si le bulbe existe ou non et comment il est placé.

Port (8) parle d'une jeune fille de dix-neuf ans dans la mâchoire de laquelle se trouvaient encore les deux dents canines temporaires. La gauche était gangreneuse et avait une fistule. La question était de savoir si l'on devait extraire la dent ainsi que celle de l'autre côté, ou si l'on devait tâcher de les conserver. La solution dépendait des proportions des bulbes des canines cachés dans les mâchoires. Étaient-ils favorablement disposés ? on n'avait qu'à extraire les dents de lait, et il était à espérer que bientôt les persistantes allaient les remplacer, d'autant plus qu'il y avait toute la place nécessaire à leur évolution. La radiographie montra que la dent à droite était dans une position un peu oblique, mais pas trop défavorable, tandis que, justement à gauche, où se trouvait la dent gangreneuse, le bulbe était

(1) Benedikt, *Wiener med. Presse*, 1898, nº 24.

(2) Gourg, Radiographie d'un maxillaire supérieur pour la recherche des canines permanentes chez un adulte. *La France médicale*, 1898, p. 371.

(3) Schaeffer, *Deutsche Monatsschrift für Zahnheilkunde*, 1897, nº 1.

(4) Chauvin et Allard, *Arch. d'électricité médicale*, 1898, p. 207.

(5) Geist-Jakobi, *Correspondenzblatt für Zahnärzte*, 1896, p. 298.

(6) M. Lipschitz, *Berlin. Monatsschrift für Zahnheilkunde*, 1902, October.

(7) Pietkiewicz, Des rayons X, de leur emploi, de leur utilité et de leur importance en stomatologie. *Tribune médicale*, 1899.

(8) Port, *Correspondenzblatt für Zahnärzte*, 1899, fig. 20, 21.

entre les dents incisives médiane et latérale ; il n'y avait donc pas d'espoir que jamais la dent percerait normalement.

La figure 14 se rapportant à cette observation m'a été donnée aimablement par M. Port. D'après cette radiographie, la thérapeutique devait tendre à conserver cette dent de lait.

Le cas est encore intéressant à un autre point de vue. Il prouve qu'on peut employer avec succès les rayons X pour constater des corps étrangers dans la cavité de la pulpe. La racine de cette dent gangreneuse avait été perforée avec une sonde qui s'y brisa malheureusement. Sur la figure 14 on voit très distinctement la pointe de ce perforateur dans la partie supérieure de la racine, contre la paroi médiane du canal.

Berten (1), au Congrès de Munich, à la suite de la conférence de Port, a relaté un cas où l'incisive médiane manquait du côté gauche. L'examen radiologique montra que la dent qui manquait se trouvait transversalement pincée entre les dents avoisinantes. Elle était rudimentaire. Une intervention aurait été dans ce cas sans succès. Ainsi, l'examen radiologique a épargné au sujet bien des souffrances, du temps et des frais.

Diagnostic étiologique de certaines névralgies (néoformation de dentine). — Les rayons X peuvent nous éclairer non seulement sur l'existence de corps étrangers dans la pulpe (comme dans le cas cité), mais encore sur les néoformations de dentine si importantes en odontologie (*Dentikel*). Briar (2) a pu au moyen des rayons X, dans des cas de névralgies violentes, d'origine introuvable, établir la vraie cause. Il a découvert des néoformations de dentine dans le canal de la racine de la dent incisive latérale. La plus grande partie supérieure du canal de la pulpe était transparente et semblait, au contraire, contenir un tissu mou, vivant. Le canal de la dent canine était clair, visible dans toute sa longueur. Avant l'examen radiologique, il avait été impossible de découvrir la cause des névralgies, puisque la dent incisive n'avait pas été plus soupçonnée que chaque autre dent avoisinante.

Par le traitement approprié de l'incisive latérale, la névralgie cessa immédiatement.

Dans un autre cas de névralgie où toutes les dents étaient en bon état, Briar croyait trouver la cause dans une dent de sagesse en retard. L'emploi des rayons X montra que la dent de sagesse n'existait pas dans la mâchoire. Il pouvait donc être établi que la névralgie n'était pas d'origine dentaire.

Diagnostic des abcès, fistules, etc. — Les rayons X ont aussi rendu de grands services pour l'examen de la position et de la grandeur de racines malades, qui avaient déterminé des accidents (abcès, fistules). De même dans le cas de fragments de racines séquestrées

(1) BERTEN, *Correspondenzblatt für Zahnaerzte*, 1899, p. 336.
(2) BRIAR, *Items of interest*, vol. XIX, n° 5, 1897.

dans la mâchoire ; de suppurations opiniâtres ; de granulations à la pointe des racines de dents gangreneuses, enfin pour le diagnostic de l'étendue des odontomes. Très distinctement on voit aussi sur le sciagramme les rapports des racines molaires avec le canal mandibulaire. Ainsi Port parle d'un sujet, chez lequel un coup de pied de cheval avait enlevé une partie des dents de devant des deux mâchoires. Au niveau de la dent incisive médiane à gauche, la gencive s'était complètement cicatrisée. La pointe de la racine présentait pourtant une fistule. On avait à choisir parmi deux hypothèses : ou la pointe de la racine de la dent incisive était encore dans la mâchoire, ou il s'agissait d'un séquestre de l'alvéole qui entretenait la suppuration (fig. 24 de l'ouvrage de Port). On a pu constater avec certitude l'absence de débris de la racine, on a vu au contraire à cet endroit une ombre oblongue qui sans doute provenait d'un séquestre.

Examen radiologique avant les extractions. — Jusqu'à présent par un examen attentif on a pu constater avant l'extraction certaines difficultés de l'opération. Mais il y a des difficultés qui échappent à cette exploration. Elles ont leur origine généralement dans les anomalies des racines. Par exemple, la direction de celle-ci peut être anormale, quelquefois elles sont fortement courbées et divergent beaucoup, ou elles peuvent être extrêmement longues. Il est impossible aussi de reconnaître une fusion ou soudure dans la région de la racine, de même que l'épaississement de la racine par exostose, cas dans lequel cette racine est plus épaisse à sa pointe qu'à sa base. La radiographie, dans ces circonstances, nous montre immédiatement où il faut chercher le véritable obstacle à l'extraction.

Ainsi, nous le voyons, les rayons X ont trouvé déjà de nombreuses applications dans la pathologie médicale et chirurgicale de la région céphalique, et, en particulier, dans l'odontologie. Dans l'espace de cinq ans, la radiologie nous a donné des résultats inespérés, et ce qu'elle a donné est peu relativement à ce que nous pouvons espérer d'elle.

Docteur Max Scheier,
de Berlin.
(Traduct. de E. Horn et H. Guilleminot.)

IX. — APPLICATION DES RAYONS X A L'OPHTALMOLOGIE

CHAPITRE PREMIER

ASPECTS RADIOGRAPHIQUES DE L'ORBITE

Suivant la comparaison classique, l'orbite peut être assimilé à une pyramide quadrangulaire dont la base serait tournée vers l'extérieur. C'est cette base surtout, qui, vu l'épaisseur notable de ses parois, s'apercevra la plus nettement sur l'écran fluoroscopique, et dessinera le contour de l'orbite.

§ 1er. — Examen postéro-antérieur.

C'est ainsi qu'en appliquant l'écran sur la face, et en plaçant le tube derrière la tête, on verra la cavité orbitaire se dessiner, légèrement agrandie, sous l'aspect d'une silhouette claire, correspondant à la limite interne du rebord orbitaire.

L'ombre de ce rebord, très sombre et nettement tranchée vers l'intérieur, se diffuse peu à peu extérieurement, et se confond avec celle des parties voisines. Si nous considérons la silhouette de ce rebord, nous voyons que c'est la portion supérieure qui est la moins visible, tandis que la portion externe formée par l'os malaire se voit beaucoup mieux, de même que la portion interne.

Les parois de l'orbite, traversées obliquement par les rayons, d'arrière en avant, ne présentent guère de variations d'épaisseur susceptibles de permettre des différenciations dans l'aire circulaire, limitée par l'ombre du rebord orbitaire. Au centre cependant se trouve une zone plus claire, correspondant à la projection des fentes sphénoïdales et sphénomaxillaires. Cette zone, très visible sur l'orbite privé de ses parties molles, l'est beaucoup moins lorsque l'œil et le tissu graisseux qui l'entourent sont en place.

§ 2. — Examen latéral.

Plus généralement on pratique l'examen fluoroscopique et radiographique de l'œil dans le plan sagittal ou dans un plan voisin. On explore ainsi plus aisément le fond de la cavité orbitaire, car c'est dans cette position que la plaque peut en être le plus rapprochée.

On obtient ainsi sur l'écran et la silhouette du rebord orbitaire, et celle de la partie postérieure de l'orbite. Supposons la plaque disposée contre la région temporale parallèlement au plan sagittal, et le tube placé de telle sorte que sa projection, perpendiculaire à ce plan, passe dans l'angle externe de l'orbite.

Dans ces conditions, si la base de l'orbite était plane, et que ce plan soit perpendiculaire à la plaque, sa projection sur cette dernière serait une simple bande, le rebord interne se projetant exactement au-dessus du rebord externe. Mais, sans compter que le rebord orbitaire ne peut être inscrit dans un plan, sa direction moyenne ne se trouve pas dans le plan frontal, car l'axe de l'orbite regarde un peu en dehors et en bas. Aussi sur l'écran placé dans le plan sagittal, le rebord orbitaire se projette-t-il sous forme d'une ombre ovalaire, affectant la forme d'un rein ou d'un haricot dont le bord antérieur représente la projection du rebord interne de l'orbite, et le bord postérieur celle du rebord externe.

Cette forme particulière résulte de ce que les parties latérales du rebord orbitaire sont concaves en avant, surtout l'extérieure, qui est située un peu en arrière par rapport au rebord interne. Si l'orbite était isolé, cette ombre se détacherait très nettement sur l'écran, mais, en réalité, sur cette dernière, se superposent les images des diverses régions traversées par les rayons. L'orbite situé du côté opposé vient, en particulier, se projeter sur l'écran. Comme ces projections sont coniques et que cet orbite est plus rapproché de la source, il projettera une ombre agrandie, mais peu visible, tandis que l'orbite contre lequel est appliqué l'écran y dessinera ses contours avec des dimensions se rapprochant de la réalité. Sur une photographie prise dans ces conditions, le tube se projetant un peu en avant de l'angle orbitaire externe, on aura donc les images concentriques des deux orbites, l'une plus petite et plus nette, très visible, donnée par l'orbite le plus rapproché, l'autre plus grande et plus diffuse, dont les contours sont très difficiles à délimiter et qui estampe pour ainsi dire les contours de la première.

A la partie supérieure de l'ombre du rebord orbitaire (fig. 339) vient se projeter celle des sinus frontaux plus ou moins saillants suivant les individus. Elle dessine un triangle, à sommet dirigé en avant et en haut, dans lequel semble pénétrer le rebord orbitaire externe. Nous envisageons en ce moment le cas où le tube se projette au-dessus de l'angle externe de l'orbite, et où le plan sagittal de la tête est bien parallèle à la plaque. Nous verrons plus

loin comment l'aspect de la radiographie varie suivant que l'on modifie la situation du tube ou de la tête. Le rebord orbitaire externe est représenté par une bande sombre de 5 à 6 centimètres de long et de un peu plus d'un demi-centimètre de large. Elle forme dans ses 2/3 inférieurs (portion malaire) une courbe à concavité antérieure de 3 centimètres de rayon environ, et se

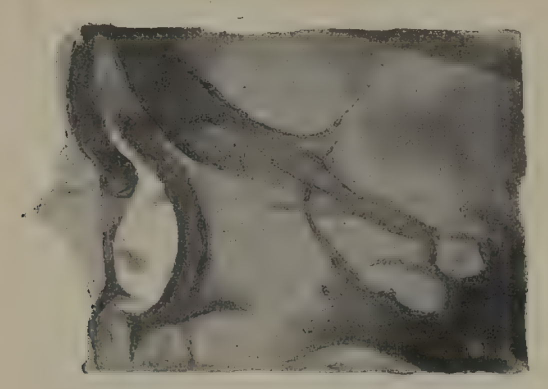


Fig. 339. — Inclinaison, 0°.

redresse légèrement tout en restant dirigée obliquement en avant et en haut dans son dernier tiers (portion frontale), arcade sourcilière qui pénètre entre les silhouettes de la paroi antérieure et de la paroi postérieure des sinus frontaux.

Cette bande est très nettement limitée en avant (bord libre de l'orbite), tandis que sa limite postérieure est plus diffuse.

Le rebord interne, formé en majeure partie par l'apophyse montante du maxillaire supérieur, apparait sous forme d'une bande sombre, à direction verticale, plus étroite que la précédente. Elle continue l'ombre donnée par la paroi antérieure du sinus frontal, tout en étant un peu en retrait sur cette dernière. Nous avons vu plus haut que le contour des deux silhouettes données par les deux orbites ne sont pas d'égale valeur et ne coïncident pas ; il est cependant un point où leur image est presque confondue : c'est celui qui correspond au rebord orbitaire interne. A ce niveau, en effet, il y a presque contiguïté entre les deux rebords orbitaires, qui se projettent par conséquent sur les mêmes points de l'écran ou de la plaque. C'est ce qui explique pourquoi le rebord interne est représenté sur l'écran par une ombre presque aussi foncée que celle du rebord externe, bien que le premier (bord maxillaire supérieur) ait moins d'épaisseur que le second (bord malaire).

Ne considérons que la silhouette de l'orbite situé contre l'écran. Le bord externe se projettera à une distance variable du bord interne, suivant l'incidence des rayons et la distance de la source de rayons X à l'écran. Dans le cas où ce dernier est appliqué sur la région temporale, parallèlement au plan sagittal et où l'anticathode, distante de l'écran de 40 centimètres, à sa projection perpendiculaire à ce dernier, passant par l'angle

externe de l'orbite, l'écartement entre les images des deux rebords est de 1 centimètre environ.

Dans ces conditions, la zone ovalaire limitée sur l'écran par le rebord orbitaire est beaucoup plus claire que le reste de l'orbite, car les rayons venant du tube ont passé par l'ouverture orbitaire du côté opposé, où ils n'ont point rencontré d'obstacle à leur passage. Si la projection du tube se fait plus en arrière (en s'écartant toujours davantage de l'angle orbitaire), l'image du pourtour de l'orbite s'agrandit, mais la zone qu'elle circonscrit s'assombrit en même temps, les rayons ayant à traverser la paroi externe de l'orbite opposé.

Des parois constituant les quatre faces de la pyramide, deux surtout seront visibles sur les radiographies prises suivant un plan sagittal. Ce sont les parois supérieure et inférieure, qui se présentent aux rayons par leur tranche, et forment ainsi un obstacle à leur passage. Les parois latérales, au contraire, rencontrées de face par les rayons, sont traversées très facilement et ne se révèlent pas sur l'écran. Du reste, ce fait est avantageux au point de vue de l'examen de l'orbite, dont la cavité paraît ainsi plus claire que les régions qui l'avoisinent.

La voûte orbitaire, qui sert en même temps de plancher à la portion antérieure de la cavité encéphalique, donne une ombre assez nette sur l'écran. Cette ombre forme une bande oblique d'avant en arrière et de haut en bas, large de 1 centimètre environ en avant, et allant en diminuant jusqu'à son extrémité postérieure, qui a moins d'un demi-centimètre de large. Elle se continue en avant par la paroi supérieure du sinus frontal et en arrière se perd dans l'ombre du massif osseux de la base du crâne. Les ondulations de la paroi, surtout marquées du côté de l'encéphale, s'aperçoivent sous

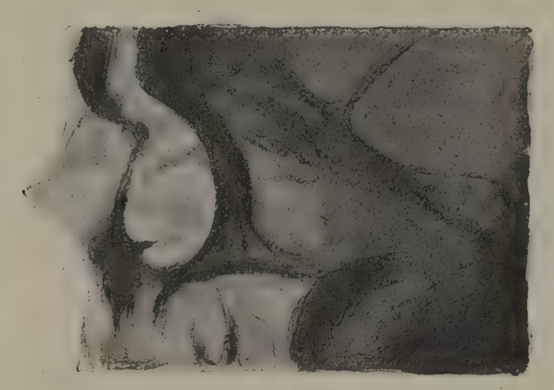


FIG. 340. — Inclinaison, 10°.

forme de lignes courbes se coupant dans différents sens. Dans la portion antérieure, l'apophyse *crista galli* vient aussi projeter son ombre, qui renforce les précédentes. Le plancher de l'orbite, qui le sépare du sinus maxillaire, moins épais que la voûte, n'est visible que dans sa portion antérieure.

Nous venons d'étudier l'image fournie par l'examen radiographique pour une position donnée de la tête par rapport au tube et à l'écran (plan

sagittal de la tête parallèle au plan de l'écran et projection du tube au niveau de l'angle orbitaire externe).

Si, sans changer la situation du tube et de l'écran, nous inclinons la tête, de façon que son plan sagittal, s'obliquant par rapport à l'écran, vienne le rencontrer en avant, l'aspect que nous avons décrit subira des modifications importantes.

Pour une faible inclinaison (10° environ, fig. 340), nous voyons la zone ovalaire, limitée par la projection du rebord orbitaire, s'élargir notablement et permettre d'explorer des portions de l'orbite qui se trouvaient précédemment cachées sous le rebord orbitaire externe. L'écartement des deux

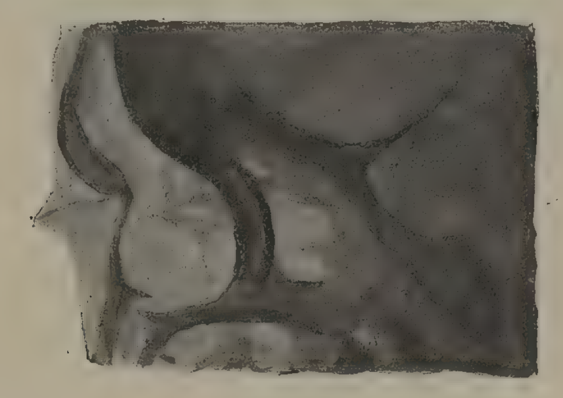


FIG. 341. — Inclinaison, 20°.

rebords orbitaires, mesuré sur l'écran, est dans ces conditions de 1 cm. 5 à 2 centimètres environ. Au fur et à mesure que la tête s'incline d'avantage, cet

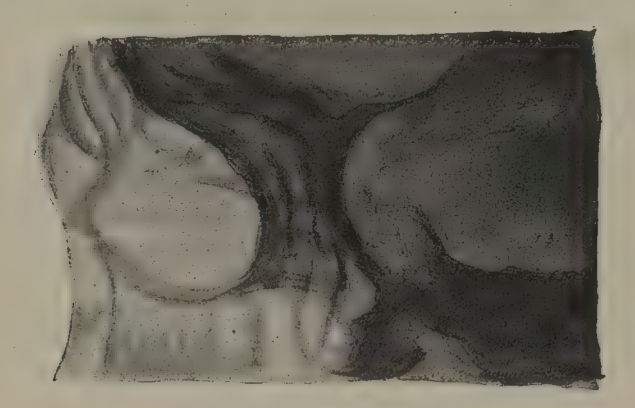


FIG. 342. — Inclinaison, 30°.

écartement augmente, et la forme elliptique de la projection du rebord orbitaire tend à disparaître, son diamètre transversal s'allongeant de plus en plus, jusqu'à devenir égal et même plus grand que le diamètre vertical (fig. 341 et 342).

De plus, la silhouette orbitaire se continue avec celle du sinus frontal, la paroi externe de l'orbite se prolongeant sur l'écran par la voûte de ce sinus, tandis qu'elle s'engageait au-dessous dans l'examen précédent (fig. 339), où le plan sagittal de la tête était parallèle à celui de la plaque.

Nous avons vu plus haut que dans l'examen latéral type que nous avons décrit, le rebord orbitaire circonscrivait une zone relativement claire, les deux rebords orbitaires se projetant concentriquement. Mais, lorsque la tête est inclinée comme nous venons de le faire, la silhouette du rebord orbitaire le plus rapproché du tube se déplace en avant par rapport à celle du rebord orbitaire opposé (contigu à l'écran), de sorte que la zone circonscrite par ce dernier paraît plus sombre qu'elle l'était dans la situation primitive type.

En continuant le mouvement de rotation de la tête devant l'écran, le fond de l'orbite, que l'on voyait latéralement sur la tête placée de champ, vient apparaître à travers le rebord orbitaire, où on l'aperçoit complètement lorsque la tête, ayant évolué de 90 degrés, a son plan frontal parallèle à la plaque. — Nous avons indiqué plus haut ce que donne l'orbite radiographié dans ces conditions.

§ 3. — Examen temporal.

Dans un examen pratique, le plan choisi n'est pas toujours le plan sagittal, car s'il est aisé à déterminer, on ne peut obtenir facilement l'immobilité du sujet dans cette position, la tête ne reposant pas sur la plaque par une surface plane. Aussi est-il préférable de choisir un plan pour lequel la plaque puisse s'appliquer exactement sur la région de la tête aussi plane que possible. La région temporale située en avant de l'oreille, et limitée en avant par le rebord orbitaire externe, en haut par les lignes courbes temporales, en bas par la région malaire et l'apophyse zygomatique du temporal, a les qualités requises pour la fixation de ce plan.

Dans ces conditions, la plaque, au lieu d'être parallèle au plan sagittal de la tête, est légèrement oblique par rapport à ce dernier qu'elle vient rencontrer en avant de la tête. C'est là une disposition très avantageuse pour l'examen de l'œil. En effet, la plaque, au lieu d'être presque perpendiculaire au plan moyen du rebord orbitaire, comme elle l'était dans la disposition précédente, est inclinée en sorte que la projection du rebord orbitaire s'étale davantage sur la plaque.

Si nous considérons une radiographie prise dans ces conditions, le tube étant à 60 centimètres de la plaque, et se projetant verticalement au-dessus de l'angle externe de l'orbite opposé à celui qui touche la plaque, l'écartement entre le rebord orbitaire externe et le rebord orbitaire interne est de 2 cm. 5 environ (fig. 343).

La voûte de l'orbite apparaît, dans ces conditions, d'une façon très nette,

car par suite de l'obliquité de la tête par rapport à la plaque, l'angle de l'orbite opposé à celui qu'on explore se trouve reporté plus en haut. Comme ce point détermine la position du tube, ce dernier se trouve situé plus haut;

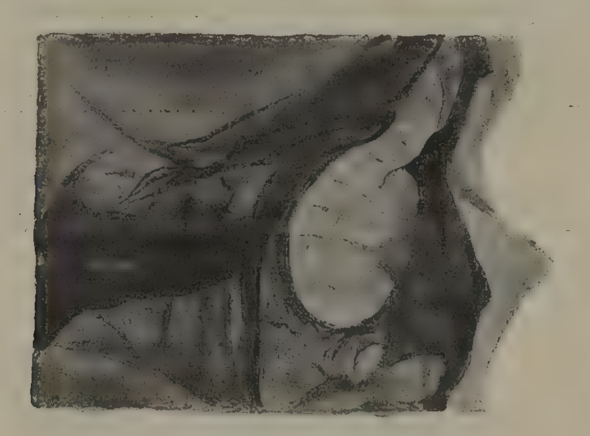


Fig. 343.

de ce fait, il projette l'ombre des os de la base du crâne plus bas, de sorte que leur silhouette ne vient pas masquer celle de la voûte orbitaire comme dans le cas où la plaque était parallèle au plan sagittal de la tête. Dans ces conditions, les vallonnements de la voûte s'aperçoivent d'une façon très nette sur la plaque sensible. Mais, par contre, l'ombre des os de la base du crâne vient se superposer à celle de la paroi latérale externe de l'orbite, et la masquer en partie, ce qui peut être un obstacle dans l'examen des parties profondes de l'orbite.

Si, sans rien changer à la situation de la tête ni à celle de la plaque, nous déplaçons le tube vers la partie postérieure de la tête, la projection du rebord orbitaire situé contre la plaque s'étale encore davantage, en même temps que celle de l'orbite opposé vient apparaître en avant de l'os nasal.

Dans le cas où la projection verticale du tube tombe sur l'apophyse zygomatique, à égale distance entre l'angle externe de l'orbite et le trou auditif externe, le rebord orbitaire externe projette son image à plus de 3 centimètres du rebord interne; le rebord externe de l'autre orbite apparaît dans ces conditions à 1 centimètre environ en avant de la racine du nez. Si nous reculons encore davantage le tube, de façon qu'il se trouve au-dessus du conduit auditif externe, ce dernier rebord vient à dépasser de plus de 1 cm. 5 la racine du nez, tandis que dans l'aire limitée par le rebord orbitaire de l'œil situé contre la plaque, se dessine toute la paroi interne de cet orbite, que l'on peut ainsi explorer en entier. On aperçoit, coupant cette paroi en deux, une bandelette sombre, oblique en haut et en avant, allant de la partie postérieure de l'orbite aux sinus frontaux, qui représente la projection des os de la base du crâne, dont nous avons déjà parlé plus haut.

Si nous continuons à déplacer le tube en arrière, les ombres orbitaires

vont en s'agrandissant toujours davantage dans le sens transversal, ce qui déforme de plus en plus leur image, par suite de l'obliquité de la projection. Aussi, pratiquement, n'y a-t-il pas lieu de dépasser avec le tube une projection correspondant au niveau du conduit auditif externe.

§ 4. — Projections de la partie bulbaire de l'orbite.

L'œil ne remplissant qu'une fraction de l'orbite, il importe de localiser la situation du globe oculaire dans l'image radiographique de l'orbite que

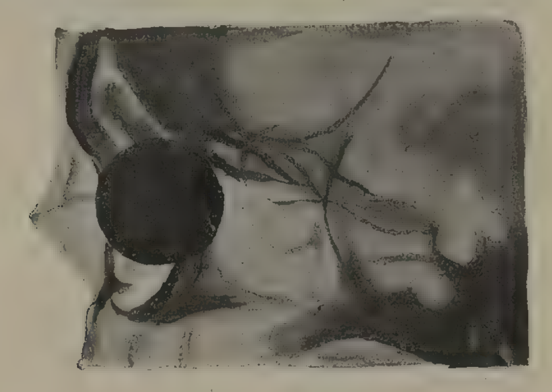


Fig. 344. — Inclinaison, 0°.

nous venons de décrire. Afin de rendre l'œil visible sur l'écran fluoroscopique, il est nécessaire de le remplir d'une substance opaque aux rayons.

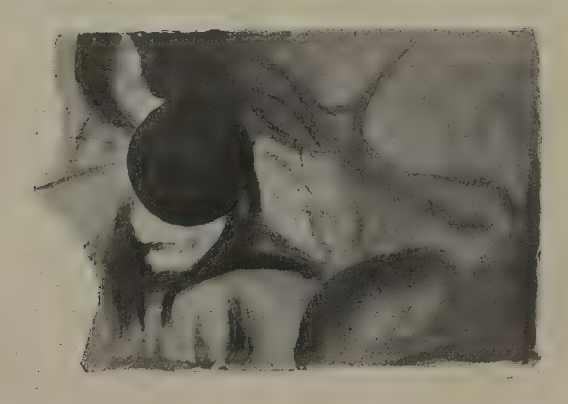


Fig. 345. — Inclinaison, 10°.

Si après avoir rempli le globe oculaire de plomb de chasse (1) nous dis-

(1) V. : F. Abt, *Recherche et localisation exacte des corps étrangers de l'œil et de l'orbite par les rayons X.* Thèse de Nancy, 1901.

posons la plaque latéralement, dans un plan parallèle au plan sagittal de la tête, et que le tube distant de la plaque de 60 centimètres se projette au niveau de l'angle externe de l'orbite opposé, la moitié envi

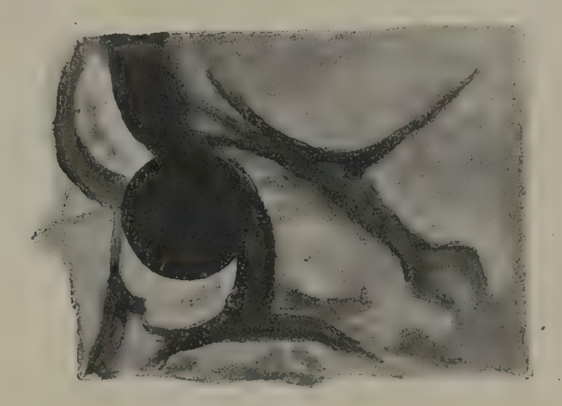


FIG. 346. — Inclinaison, 20°.

ron de l'ombre de l'œil empiète sur celle du rebord externe de l'orbite (fig. 344).

Dans un examen pratiqué ainsi, on ne pourrait par conséquent explorer que la moitié antérieure de l'œil, sans être gêné par le rebord orbitaire.

Aussi y a-t-il intérêt à incliner la tête par rapport à la plaque, de façon à dégager complètement l'œil. Ce dégagement est effectué en entier pour une inclinaison de la tête de 30 degrés par rapport au plan de l'écran (fig. 347).

En résumé, les rapports entre la longueur totale de l'œil, la partie libre

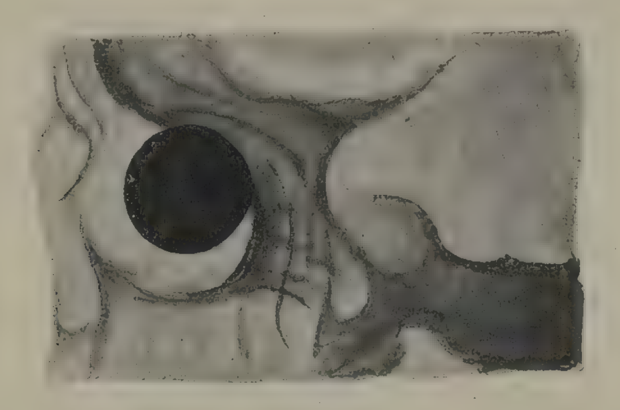


FIG. 347. — Inclinaison, 30°.

du diamètre antéro-postérieur et la partie cachée par le rebord orbitaire externe sont les suivants pour des inclinaisons de 0 à 30° (fig. 344 à 347).

Inclinaison en degrés.	Diamètre antéro-postérieur de l'ombre du globe de l'œil en millimètres.	Partie libre du corps de cette ombre en millimètres.	Partie cachée en millimètres.
0	25	15	10
10	24,5	16	8,5
20	24	19	5
30	23	21	2

Si la projection du tube se fait plus en arrière, du côté du conduit auditif, la portion dégagée de l'ombre de l'orbite est encore plus considérable, ce qui démontre que la projection de l'ombre du globe oculaire peut être complètement dégagée des ombres du rebord orbitaire.

CHAPITRE II

ACTION DES RAYONS X SUR L'ŒIL

Les rayons X sont invisibles : telle fut la première opinion, qui demeure encore suffisamment exacte dans la pratique de la radiologie. On songea à l'interpréter en disant que les milieux de l'œil étaient opaques aux rayons et que cette opacité tenait surtout à l'absorption des rayons par le cristallin. Cette opinion a été abandonnée devant des radiographies montrant que les milieux de l'œil sont peu absorbants, comme le fait prévoir leur constitution chimique.

L'invisibilité des rayons X tient à ce que la rétine n'est pas sensible à ces radiations. Cependant cette insensibilité n'est pas absolue et, dans certaines conditions, on peut percevoir au voisinage d'un centre de production des rayons X une faible sensation lumineuse due, soit à ces rayons, soit à une transformation de l'énergie de ces rayons en un autre mode de l'énergie perceptible par la rétine. Il y a eu sur cette question de nombreux débats qui ne présentent plus qu'un intérêt rétrospectif. Des auteurs qui d'abord avaient nié la visibilité des rayons l'ont ensuite observée. Cela tient à ce que les rayons X impressionnent la rétine dans des conditions déterminées avec des tubes qui ne sont ni trop mous ni trop durs. C'est avec des tubes puissamment alimentés ayant une résistance équivalente à 10 centimètres d'étincelle que le phénomène nous a semblé le plus net (Charpentier et Guilloz).

Hunsteld et Nagel n'ont pas constaté plus que nous-même de fluorescence des différents milieux de l'œil soumis aux rayons X. Il ne s'ensuit pas, d'ailleurs, comme le font remarquer Hunsteld et Nagel, qu'il ne se produise pas une fluorescence suffisante pour impressionner les organes percepteurs qui sont extrêmement voisins, et insuffisante cependant pour être perçue par un œil extérieur. En déterminant au photoptomètre de A. Charpentier le minimum perceptible pour différentes couleurs (sensibilité lumineuse, sensibilité chromatique), nous n'avons pas constaté que ce minimum subisse des variations quand l'œil était soumis à des rayons X faiblement perçus (Charpentier et Guilloz).

D'après Hunsteld, et Nagel, le pourpre rétinien n'est pas altéré par une

exposition d'une heure au rayonnement d'un tube de Crookes puissant. Les rayons de Röntgen comme les rayons lumineux provoquent une différence de potentiel entre le sommet postérieur et le sommet antérieur de l'œil de la grenouille. Cette expérience a été faite sur un œil dont le cristallin était en place et sur un œil dont le cristallin était absent, ce qui montre que la fluorescence du cristallin n'intervient pas. Un échantillon de radium bien entouré de papier noir et placé très près de l'œil bien adapté donnerait une faible lueur et les diverses parties de l'œil paraîtraient acquérir une fluorescence d'intensité à peu près égale (Hunsteld et Nagel). Les rayons ultra-violets produisent sur l'œil une action analogue, mais dans ce cas la fluorescence du cristallin semble plus intense. Nous n'avons pu (Charpentier et Guilloz) mettre en évidence cette fluorescence de l'œil sous l'influence du radium, cela tient sans doute à ce que l'échantillon dont nous disposions n'était pas assez radioactif.

Les rayons X traversant rectilignement des milieux opaques à la lumière ordinaire, leur perception par la rétine, si faible qu'elle soit, fit naître l'espoir de rendre, suivant l'expression d'Edison, la vue aux aveugles dont la rétine serait encore sensible, à ceux par conséquent dont la cornée serait opaque. On est encore loin de réaliser cette conception ! D'une part, la perception des rayons n'est pas intense. D'autre part, la propagation rectiligne de ces rayons, leur direction divergente quand ils tombent sur un écran font que l'objet dont l'image recouvrirait entièrement l'écran percepteur rétinien devrait lui être inférieur en grandeur.

Il est plus intéressant de savoir que les rayons X peuvent avoir sur l'œil et ses annexes des actions nocives identiques à celles observées sur la peau, et au sujet desquelles nous renvoyons au chapitre « Accidents par les rayons X », traité d'une façon si complète par M. Oudin.

Dans la pratique courante, le tube étant à 60 centimètres du sujet, on n'a pas, pensons-nous, à redouter des accidents avec des poses de 2 à 4 minutes et des tubes qui ne sont pas trop durs. Il n'en serait plus de même si l'on devait expérimenter longtemps sur un même patient.

CHAPITRE III

EMPLOI DES RAYONS X EN OPHTALMOLOGIE

Les rayons X ne paraissent pas avoir été employés systématiquement, jusqu'ici, à l'étude des lésions osseuses de l'orbite (fractures, tumeurs osseuses, etc.). J'ai cependant pu déceler un ostéo-sarcome intracranien, partant de la voûte orbitaire, chez un enfant de 4 ans (1). L'emploi des rayons X en ophtalmologie est encore à peu près limité au diagnostic de l'existence de corps étrangers de l'œil et de l'orbite et à leur localisation dans un but d'extraction. Leur recherche à l'ophtalmoscope est souvent impossible à cause de l'opacité des milieux oculaires consécutive au traumatisme ou par suite de leur situation. Les magnétomètres ont un emploi restreint, limité au diagnostic de la présence de parcelles de fer ou d'acier.

L'emploi des rayons X pour la recherche des corps étrangers intra-orbitaires constitue donc une méthode de choix, car elle est d'un emploi général, et elle permet de reconnaître et de localiser des corps étrangers très petits dont le poids peut être inférieur à 1 milligramme. Les procédés de localisation rentrent dans les méthodes générales de déterminations de la position des corps étrangers dans l'organisme et il n'en sera pas fait dans ce chapitre une étude détaillée. On indiquera seulement les méthodes employées et les quelques remarques qui sont spéciales à ces recherches.

§ 1. — Méthode fluoroscopique.

Elle se pratique le plus souvent en appliquant l'écran contre la face temporale du sujet et en cherchant dans l'image de l'orbite l'ombre du corps étranger.

Dans le cas d'un corps étranger intra-oculaire, il y a intérêt à faire varier l'inclinaison de la tête afin de dégager de l'image sombre du rebord orbitaire la région oculaire. Nous avons vu qu'une inclinaison de 30° de l'écran sur le plan sagittal, le tube se projetant sur l'angle externe de l'orbite ou encore mieux un peu plus en arrière du côté du conduit auditif,

(1) V. Haushalter, *Revue méd. de l'Est*, 1899.

avait pour effet de dégager presque complètement la région bulbaire des ombres des rebords orbitaires.

Il est important de ne pas pratiquer la recherche du corps étranger quand le malade est porteur d'un pansement renfermant des poudres antiseptiques, et en particulier de l'iodoforme. Certaines particules agglomérées et opaques pourraient, ainsi que nous l'avons constaté, en imposer pour un corps étranger si l'on n'y prenait garde.

Il est vrai qu'une localisation exacte faite par la radiographie indiquerait l'erreur en montrant que la situation du prétendu corps étranger est extérieure aux tissus.

A part cette cause d'erreur, qu'il est facile d'éviter, la vue d'une opacité anormale nette, circonscrite, *permettra d'affirmer l'existence* d'un corps étranger, sans que l'on puisse présumer de sa nature (fer, acier, cuivre, tous les métaux, pierre, verre, etc.).

Il faut être plus réservé quand on *veut affirmer qu'il n'existe pas de corps étranger*. Celui-ci pourrait être difficilement visible ou même ne pas l'être du tout à cause de sa transparence. Il pourrait en outre échapper à l'observation à cause de sa petitesse ou parce que le contraste qu'il formerait ne serait pas suffisant par suite d'un fonctionnement défectueux des appareils radioscopiques. Enfin, si le corps étranger intra-orbitaire est extra-bulbaire et appliqué contre la paroi externe de l'orbite, on ne pourra l'apercevoir qu'à travers l'ombre assez forte de l'os. Il convient alors d'employer des rayons durs traversant assez les os.

S'il s'agit, par contre, de rechercher le corps étranger dans le globe oculaire et si l'examen est pratiqué de telle sorte que la région bulbaire soit dégagée des ombres orbitaires, l'emploi de rayons mous donnés par un tube puissamment alimenté restera préférable, car on obtiendra ainsi le meilleur contraste.

Il est bon de vérifier, quand on ne trouve pas de corps étrangers, si les conditions opératoires ont été suffisamment remplies pendant l'examen. Nous avons coutume de déplacer dans le champ et de l'autre côté de la tête du sujet un fil métallique de 5 ou 9/10 de millimètre de diamètre et d'observer l'image du fil qui apparaît, vu sa distance de l'écran, plus difficilement qu'un corps étranger intra-orbitaire de même dimension.

La localisation approximative d'un corps étranger intra-orbitaire peut se faire en pratiquant l'examen postéro-antérieur et l'examen latéral, c'est-à-dire en se rendant compte de la projection du corps étranger dans deux plans rectangulaires. L'examen postéro-antérieur révèle plus difficilement que l'examen latéral l'ombre de corps étrangers très petits occupant la partie postérieure du globe.

Le corps étranger intra-oculaire peut se localiser en observant les mouvements parallactiques du corps étranger pendant la rotation du globe.

Le centre de rotation coïncidant avec le centre de figure, il n'y aura pas pendant les mouvements de l'œil de déplacement de l'ombre du corps

étranger si celui-ci se trouve au centre de l'œil. Si dans l'examen latéral, la direction du regard est déplacée parallèlement au plan médian ou sagittal de bas en haut ou de haut en bas, l'image du corps étranger se déplacera dans le sens de la direction du regard, s'il se trouve dans l'hémisphère antérieur du globe. L'ombre se déplacera en sens contraire de la direction du regard si le corps étranger est dans l'hémisphère postérieur du globe.

Afin de bien se rendre compte de ces déplacements, il convient, en pratique, de coller un fil métallique sur la tempe dans le plan horizontal passant par le centre de rotation du globe et de disposer le centre d'émission des rayons dans le plan ainsi déterminé. On se rendra compte du sens du déplacement de l'ombre du corps étranger dans les mouvements de l'œil par rapport à l'image visible du fil métallique.

On observera si l'image du corps étranger pendant le déplacement du regard, en haut par exemple, s'éloigne ou s'approche de l'image du fil métallique horizontal. Si l'ombre du corps étranger se rapproche, celui-ci est situé dans le quadrant antéro-inférieur ou postéro-supérieur.

Nous résumerons la détermination dans le tableau suivant :

EXAMEN LATÉRAL			
Déplacement de la ligne du regard de l'horizon en haut.	L'ombre du corps étranger se déplace dans le sens de la ligne du regard.	En s'éloignant de l'image du fil horizontal collé sur la tempe dans le plan horizontal passant par le centre du globe.	Quadrant antéro-supérieur.
		En s'en rapprochant.	Quadrant antéro-inférieur.
Les quadrants sont déterminés par un plan horizontal passant par l'axe du globe et par un plan vertical passant par le centre du globe et parallèle au plan frontal.	L'ombre du corps étranger se déplace en sens inverse.	En s'éloignant de l'image du fil horizontal.	Quadrant postéro-inférieur.
		En s'en rapprochant.	Quadrant postéro-supérieur.

Cette même méthode parallactique nous permet de pousser encore plus loin la localisation et de dire si le corps étranger se trouve dans la portion nasale ou temporale de chacun des quadrants précités (fig. 348). Il faut alors, le regard étant dirigé horizontalement en avant et parallèlement au plan médian, le faire déplacer dans le plan horizontal en le faisant se diriger du côté nasal ou temporal. Si l'ombre se déplace en avant quand le regard est dirigé du côté nasal, le corps étranger occupe l'hémisphère temporal. Il occupera l'hémisphère nasal dans le cas contraire. Le sens du déplacement

en avant ou en arrière sera plus facilement précisé, en se servant d'un écran fluoroscopique finement quadrillé.

Si le corps étranger occupait une position voisine du méridien parallèle au plan médian ou du plan équatorial horizontal, il arrivera que l'ombre, après s'être dirigée dans un certain sens progressif, reviendra en sens inverse lors d'un déplacement de la ligne du regard dans la même dirrction.

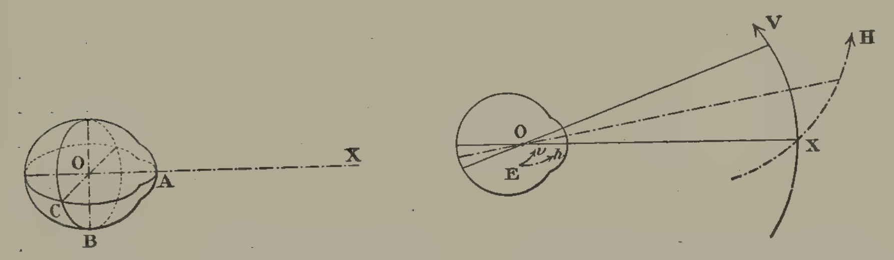


Fig. 348. — Déplacement parallactique sur un écran parallèle au plan médian de l'ombre d'un corps étranger situé dans la portion temporale du quadrant antéro-inférieur (secteur OABC).

E, ombre du corps étranger lorsque le regard est dirigé suivant OX, c'est-à-dire horizontalement parallèlement au plan médian. — E*v*, sens du déplacement de l'ombre quand la ligne du regard se déplace en haut dans le sens vertical XOV. — E*h*, sens du déplacement de l'ombre du corps étranger quand la ligne du regard se déplace du côté nasal dans le plan horizontal XOH.

Le point de rebroussement de la trajectoire de l'ombre du corps étranger se produira quand celui-ci se trouverait amené dans la position d'un de ces plans supposé immobile pendant la rotation du globe. On aurait ainsi un moyen de localiser avec plus de précision la position du corps étranger par la détermination du méridien dans lequel il se trouve. On pourrait aussi imaginer d'autres méthodes, mais nous les jugeons plus théoriques que pratiques, dès que l'on recherche une grande exactitude dans la détermination. Nous pensons, en effet, qu'il est préférable de recourir à la radiographie quand on veut une détermination précise de la position du corps étranger.

Nous verrons qu'en radiographie la méthode parallactique a été utilisée sous une forme analogue à celle que nous venons d'exposer. Si dans l'examen fluoroscopique elle semble la préférable, au contraire en radiographie, elle doit céder la place à d'autres méthodes plus précises qu'il n'est pas plus difficile d'appliquer.

§ 2. — **Méthode radiographique.**

Cette méthode présente sur l'examen fluoroscopique le grand avantage de laisser une preuve évidente et durable de la présence du corps étranger, et de conserver une partie des données qui servent à sa localisation. Elle permet dans les méthodes permettant un contrôle de savoir si la détermination est en faute, ou si l'insuccès tient aux difficultés inhérentes

à l'opération. Certains chirurgiens auront, en effet, une tendance naturelle à ne considérer comme bien déterminés que les corps qu'ils auront pu extraire.

Les premiers observateurs cherchèrent à éviter les grandes épaisseurs et les os du crâne, dont on avait exagéré l'opacité. Le peu de puissance et de pénétration des rayons primitivement obtenus poussèrent aussi, afin de restreindre la pose, à rapprocher beaucoup la source lumineuse, ce qui déformait notablement les images obtenues.

A. — Recherche d'un corps étranger

Plaque dans l'angle interne de l'orbite. Rayons X venant du côté temporal. — Van Duyse obtint, le 5 mars 1896, la première radiographie de corps étranger métallique siégeant dans l'œil, en fixant une petite plaque sensible dans l'angle interne de l'orbite et en faisant arriver les rayons X par le côté temporal. Le champ d'observation est ainsi limité au segment antérieur de l'œil. Lewkowitsch se servit du même procédé, et en déplaçant, au milieu de l'opération, l'œil dans des conditions déterminées, il obtint sur la plaque deux images qui lui permirent de préciser la position du corps étranger. De Bono reprit la même technique en 1899, pour des corps étrangers de la paupière et du corps ciliaire.

Plaque de face contre l'orbite. Rayons venant de derrière la tête. — Van Duyse avait bien essayé, en disposant la plaque de face contre les yeux, de faire traverser la tête par les rayons venant d'arrière en avant, mais il n'était pas arrivé au résultat cherché. Ce n'est que plus tard, avec l'augmentation de puissance des rayons, que cette méthode put être employée avec succès. Friedenburg plaçait contre chaque œil des plaques sensibles dont les contours étaient exactement taillés suivant la forme de l'orbite. De nombreux radiographes utilisent cette méthode en plaçant une plaque sur la face soit parallèlement au plan frontal, comme Radiguet, Guichart, Foveau de Courmelles, etc., pour obtenir une projection qui, combinée à celle donnée dans le plan sagittal, fournit les éléments de la localisation, soit dans le plan le plus rapproché possible de la base de l'orbite, comme Buguet et Rocher l'ont cherché.

Le patient, dans les déterminations de ces derniers auteurs, venait appliquer l'œil blessé sur la plaque photographique disposée horizontalement sur une table. La tête repose alors par la saillie malaire, le bord externe de l'arcade sourcilière et l'extrémité des os du nez. Le tube Röntgen est installé au-dessus de façon que la verticale du focus tombe à l'intérieur du triangle formé par les points d'appui.

Plaque placée contre la joue. — Williams fait coucher le patient la joue sur la plaque sensible et place le tube à huit pouces en avant de la tête. Les rayons utiles passaient au travers du nez et de l'orbite du côté malade et gagnaient ensuite la plaque. Thompson Holland employa le

même procédé, qui, s'il a l'avantage d'offrir une moins grande épaisseur d'os à la marche des rayons, présente, ce nous semble, le grand inconvénient de déformer considérablement l'image.

Pellicule photographique dans la fosse nasale. — Clark démontra la position d'un éclat d'acier de 1 millimètre carré logé derrière l'iris en plaçant une pellicule photographique dans la fosse nasale correspondante, le long de la cloison et aussi haut que le permet la lame criblée de l'ethmoïde. L'auteur assure que par ce procédé on peut déterminer la présence d'un corps étranger dans le vitré.

Plaque contre la paroi temporale. — C'est cette méthode qui est la plus employée, et, dans la majorité des cas elle semble être la méthode de choix.

L'application de la plaque est ainsi faite sur une région aussi plane que possible, ce qui donne une position bien déterminée, au plan de projection dans les méthodes où la détermination exacte de la position du plan lors de la localisation demeure capitale. Contremoulins, Friedmann, Olner, Foveau de Courmelles, etc., utilisent ce procédé.

B. — Localisation de la position du corps étranger

Examen de l'épreuve radiographique. — On a fait des tentatives de localisation approximative du corps étranger par l'examen d'une seule épreuve radiographique et en particulier de l'épreuve latérale. Kibbe fait remarquer que, dans cette épreuve, le rebord orbitaire temporal présente en avant de lui un espace clair, représentant le tissu des deux yeux et les parois orbitaires de l'ethmoïde, puis, plus en avant, un espace sombre, projection de l'unguis et de l'apophyse montante du maxillaire supérieur.

Si l'image du corps étranger se trouve dans le voisinage des ombres du rebord orbitaire externe, il se trouverait au pôle postérieur de l'œil. Si elle est dans l'espace clair, il se trouve en arrière du cristallin. Si elle empiète sur l'image de l'unguis et de l'apophyse montante du maxillaire, il serait dans le cristallin ou dans son très proche voisinage.

L'étude que nous avons présentée des aspects radiographiques de l'orbite et de la position occupée par l'image du globe oculaire sur les radiographies, montre que ces propositions sont à peu près exactes quand le tube est placé verticalement au-dessus de l'angle externe de l'orbite. Elle montre aussi combien sont variables les positions de la projection du globe oculaire dans l'ombre de l'orbite avec une légère inclinaison de la tête ou de la plaque et, par conséquent, conseille au radiographe la plus grande prudence dans ses appréciations par le simple examen *de visu* d'un cliché radiographique. S'il est en effet un point où la rigueur est capitale dans une détermination radiographique, c'est bien celui de la localisation de la position des corps étrangers intra-oculaires ou intra-orbitaires, car le

champ opératoire est bien restreint, et dans les extractions la précision la plus minutieuse dans la détermination suivie d'une égale précision dans le maniement de l'électro-aimant est bien le gage d'un heureux succès.

Examen d'épreuves radiographiques après déplacement de l'œil. — Grossmann prend deux épreuves pendant que le regard est dirigé en bas, puis en haut et en suivant le sens du déplacement de l'ombre du corps étranger le localise dans un cadran comme nous l'avons précédemment exposé à propos de l'examen radioscopique.

Stéréoscopie. — Mackenzie Davidson se sert d'épreuves radiographiques et stéréoscopiques pour localiser le corps étranger. Nous ne saurions mieux faire à ce sujet que de renvoyer au chapitre écrit par M. Marie et traitant de la localisation des corps étrangers par la stéréoscopie.

Deux clichés pris dans des plans perpendiculaires. — La méthode générale de projection sur deux plans perpendiculaires a été souvent appliquée pour effectuer la localisation (Buguet, Radiguet, Foveau, etc.). L'ampoule est située à o m. 50 ou o m. 60 de la tête. La plaque sensible est placée verticalement près de la tête, d'abord de profil, puis de face. Pour déterminer la position du projectile on fixe dans un plan horizontal passant par le sourcil deux grains de plomb témoins. L'un des plombs est fixé dans le plan vertical passant par le centre de la cornée; l'autre plomb est fixé sur la tempe dans la verticale passant par le centre du globe (à 12 millimètres du pôle cornéen antérieur). On déterminera ainsi assez exactement sur les photographies la position relative du corps étranger par rapport aux plans méridiens de l'œil passant par les points de repère.

Procédé Contremoulins. — Ce procédé, appliqué aux recherches spéciales dont il est question, donnera de bons résultats à cause de sa précision.

Procédés de Sweet. — Sweet donne deux méthodes pour la recherche des corps étrangers métalliques logés dans l'œil. Dans la première, il emploie des tiges métalliques de longueur inégale, portant chacune une petite sphère au bout qui regarde le globe. Ces tiges sont parallèles entre elles, séparées par une distance fixe de 15 millimètres, et un dispositif spécial les maintient parallèles à la plaque sensible appliquée contre la tempe du malade. On fait deux expositions : pour la première, on place le tube de Crookes de telle façon que les ombres des deux tringles se superposent, c'est-à-dire on le place dans le plan qui passe par les deux tringles, l'une correspondant au sommet de la cornée, l'autre étant placée du côté correspondant de la tempe. Pour la seconde exposition, on lui fait subir un déplacement vertical que l'on mesure. Il est facile de voir que les lignes qui joignent l'image du corps étranger à la position du tube qui l'a produite s'entrecroisent au point où se trouve le corps étranger; ce point peut être déterminé à l'aide des images skiagraphiques, car, pendant l'exposition, le malade fixe un point choisi, de façon que la ligne visuelle coïncide avec la plus grande des tringles, et l'opérateur détermine la distance qui sépare le

bout de cette tringle (marqué par une petite sphère) du sommet de la cornée. La distance antéro-postérieure qui sépare l'image du corps étranger du bout de la grande tringle permet ainsi de déterminer à quelle distance en arrière de la cornée se trouve le corps étranger. La distance qui sépare les deux images du corps étranger complète les éléments (distance du tube de la ligne visuelle, distance des tubes entre eux pendant les deux expositions consécutives) qui permettent de calculer son emplacement transversal. Pour que les ombres des corps étrangers se distinguent bien des ombres des parois orbitaires, il est nécessaire, dit Sweet, de disposer le tube de Crookes dans le plan vertical qui passe par les deux sommets cornéens. Nous croyons que ce résultat est seulement atteint quand le corps étranger occupe le segment antérieur du globe.

Dans sa deuxième méthode, Sweet emploie trois tiges d'aluminium fixées à un bandeau frontal. L'une est fixée au canthus interne, l'autre au canthus externe, la troisième au-dessus du milieu de la paupière supérieure. Le tube est placé à 13 pouces en arrière et en haut du pariétal. La plaque sensible est enfoncée profondément entre la paroi nasale de l'orbite et le bulbe. Dans une deuxième exposition, on fait faire au tube une rotation de 250 avec l'horizontale. Sweet fait alors projeter par une bougie l'ombre des indicateurs sur la plaque qui a été mise dans la position qu'elle occupait antérieurement. Il déplace la bougie jusqu'à ce que l'ombre de projection couvre exactement les ombres obtenues avec les rayons X. Puis il place un corps étranger contre la lumière et le déplace jusqu'à ce que son ombre aussi tombe sur l'ombre du corps étranger obtenue pendant la première pose. On renouvelle la même opération en déplaçant la bougie, jusqu'à ce que les ombres des indicateurs et des corps étrangers couvrent celles obtenues sur la deuxième plaque. Le point d'intersection des lignes d'ombres des corps étrangers obtenues aux deux épreuves détermine la position du corps étranger. En tenant compte de la distance connue du milieu de la cornée à un point déterminé de l'appareil, Sweet arrive à déterminer approximativement l'éloignement du corps étranger à ce point...

Procédé de Mackensie-Davidson. — Mackensie-Davidson décrit au Congrès de médecine anglais de janvier 1898, son appareil et sa méthode pour la détermination des corps étrangers logés dans le globe ou dans l'orbite. Son appareil se compose d'une barre horizontale graduée en millimètres avec le zéro au milieu, supportée par deux tiges verticales fixées sur une table. La barre horizontale porte le tube producteur des rayons X, dont les déplacements sont exactement limités par deux curseurs qu'on peut fixer en différents points. Cette disposition permet de prendre deux radiographies de deux points de vue différents, de déterminer exactement les distances des points de vue et la hauteur au-dessus de la plaque photographique du tube producteur des rayons X.

Pour faire l'opération, on place sur la table, entre les tiges verticales, une plaque photographique portant deux aiguilles à tricoter disposées en

croix. L'une de ces aiguilles est placée parallèlement à la barre horizontale, et le point de croisement doit se trouver sur la verticale du zéro de la graduation. Au-dessous, on fixe la tête : l'œil contenant le corps étranger est dirigé de telle façon que l'axe optique soit parallèle à l'une des aiguilles. Il est nécessaire de marquer sur la tempe la position de l'aiguille horizontale.

Un morceau de plomb placé sur la paupière inférieure forme sur la plaque un point de repère. On fait alors deux poses, en déplaçant le tube de 6 centimètres le long de la barre horizontale dans l'intervalle des deux opérations. En développant le négatif, on trouve deux ombres du corps étranger. Une construction géométrique à l'échelle permet de connaître exactement la position du corps étranger. On peut s'y prendre de la façon suivante : le cliché fixé est porté sur un pupitre horizontal éclairé par en bas au moyen d'un réflecteur approprié, et on l'ajuste de façon qu'une perpendiculaire tirée à partir d'une entaille dans un plateau horizontal supérieur tombe sur le point où les ombres des fils se croisent, ce plateau étant d'ailleurs placé à la hauteur des tubes au-dessus de la plaque. On détermine la situation relative des deux anticathodes par la distance à ce point. De ces points on conduit deux fils tendus par de petits poids que l'on place exactement sur l'ombre correspondante du corps étranger, les fils représentent exactement le trajet des rayons X, et leur point de rencontre donne la position du corps dans l'espace. On mesure perpendiculairement sa distance au plan horizontal, qui donne la profondeur, et aux deux plans représentés par les deux fils croisés, dont la trace marquée sur le sujet servira de guide au chirurgien.

Détermination des distances du corps étranger à trois points de repère (Ch. Guilloz). — Nous avons eu quelquefois l'occasion d'employer le procédé suivant (Voir Abt, Thèse de Nancy, 1900, p. 39. Résumé des observations de 4 cas de corps étrangers de l'œil extraits par M. Rohmer):

Deux tubes pouvant être alimentés séparément ont leurs anticathodes sur une horizontale. Une plaque photographique, entourée de papier noir, est placée horizontalement à 50 centimètres au-dessous. Un fil métallique tendu autour de la plaque donne la projection de la ligne joignant les anticathodes et deux repères métalliques marquent sur cette ligne les projections des centres d'émission. On colle trois points de repère métalliques sur le sujet, par exemple l'un sur l'arcade orbitaire au niveau de l'échancrure sus-orbitaire, le second sur l'apophyse montante du maxillaire supérieur et le troisième sur le rebord orbitaire externe. Le sujet est couché le côté de la tête correspondant à l'œil atteint placé sur la plaque. L'œil est repéré en faisant diriger *constamment* le regard parallèlement au plan sagittal et perpendiculairement au plan frontal.

Les deux tubes étant ainsi actionnés (2 à 4 minutes de pose), on obtient une double image, c'est-à-dire les traces des projections bi-coniques des points de repère et du corps étranger. Ces projections bi-coniques sont transformées par un graphique ou mieux par le calcul en une projection

orthogonale qui donne les distances des points de repère entre eux et leurs distances au corps étranger.

La distance des points de repère entre eux étant directement mesurable, on obtient ainsi une vérification des déterminations. De plus, avant de commencer les calculs ou le graphique, il faut s'assurer que les lignes joignant les points homologues des doubles images soient parallèles à la ligne dessinée sur la plaque par le fil métallique qui a été tendu.

Nous avons vérifié sur une tête de cadavre que l'exactitude de la méthode pouvait atteindre l'ordre d'une fraction de millimètre. Le plan sur lequel repose la tête du sujet n'a pas besoin d'être déterminé par rapport à celle-ci puisqu'il sert transitoirement. Il suffit d'assurer l'immobilité de la tête et de l'œil pendant la prise de la radiographie, et il est inutile de leur appliquer un appareil de fixation. Il est entendu que le degré de précision que nous venons de signaler est celui obtenu dans la détermination géométrique ; mais, généralement, on ne l'atteint pas quand on transforme la localisation géométriquement faite par rapport aux trois repères en localisation anatomique, soit par suite d'une légère mobilité des repères, soit à cause des dimensions variables de l'orbite ou encore de la mobilité de l'œil.

Les distances du corps étranger aux trois points de repère étant déter-

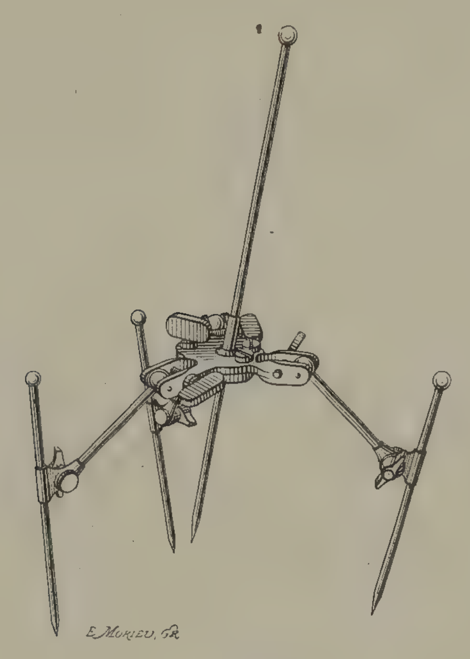


Fig. 349.

minées, on se servira avantageusement pour la localisation anatomique d'un instrument qui n'est autre qu'un compas à quatre branches, dont chacune

peut prendre toutes les inclinaisons et les longueurs voulues (fig. 349) (1).

La tête du compas est formée d'un plateau traversé en son milieu par la branche centrale et portant sur sa périphérie les trois articulations supérieures des trois autres branches du compas.

La branche centrale est une tige cylindrique rectiligne graduée, coulissant à frottement doux dans une tige creuse de 1 centimètre de longueur. Cette dernière traverse en son centre une bille de cuivre à laquelle elle est soudée et qui est mobile dans une articulation sphérique, très évidée, ménagée, partie dans le plateau, partie dans une petite plaque fixée par trois vis à la partie supérieure de ce plateau. Un simple petit tour donné à l'une de ces vis rend, par pression, l'articulation rigide et ne permet plus que le déplacement rectiligne de la tige graduée dans la coulisse.

Chaque branche latérale du compas est bi-articulée. Le bras supérieur est articulé au plateau par une articulation sphérique semblable à celle qui vient d'être décrite pour la branche centrale et qui peut être également rendue rigide par l'action d'une vis à tête plate. La partie inférieure du bras supérieur de chacune des branches latérales du compas présente une articulation à charnière portant une glissière dans laquelle coulisse le bras inférieur rectiligne de la branche du compas.

Je suppose donc connues les distances qui séparent les points de repère entre eux et celles des corps étrangers auxdits points de repère. Pour régler le compas on construira un triangle ABC dont les côtés représenteront les distances des points de repère entre eux. Les pointes des branches latérales du compas seront appliquées sur ces trois points et on les rendra ensuite absolument rigides par le serrement des vis.

Il suffira alors, prenant le compas en main, de chercher par tâtonnement la position de la tige centrale donnant, pour son extrémité X, les distances XA, XB, XC. Afin de faciliter le réglage du compas on emploie un petit plomb percé X relié à trois autres plombs A, B, C par des fils de longueur XA, XB, XC. Les tiges étant respectivement enfoncées dans les plombs correspondants, on pousse la tige centrale jusqu'à ce que les 3 fils soient tendus. Le compas étant ainsi réglé on vérifie les distances au moyen d'un compas ordinaire et on parfait le réglage par tâtonnement. Une fois le résultat obtenu on fixe l'articulation centrale en serrant la vis du plateau formant la tête du compas et on note la division de la tige graduée affleurant le bord supérieur de la coulisse.

Plaçant le compas sur le sujet, les pointes latérales en contact respectif avec les points de repère, la direction de la tige centrale indiquera la position du corps étranger, car, si on l'enfonçait jusqu'à la division notée, la pointe de la tige serait sur le corps étranger.

Comme on peut déplacer la tête du compas par rapport au plan ABC

(1) Guilloz, *Ier Congrès d'electrobiologie et de radiologie*, Paris, 1900 ; *Archives d'electricité médicale* ; *Annales d'electrobiologie*.

des pointes, on donne ainsi à la tige centrale l'incidence que l'on désire sur le plan ABC. En d'autres termes, ce compas permet de donner à la tige centrale la direction même de l'attaque choisie par le chirurgien. Ce point a, dans certains cas, une grande importance, par exemple lorsque le corps étranger se trouve dans le cristallin ou le corps ciliaire.

§ 3. — Valeur pratique de la méthode. Résultats statistiques.

Nous n'avons pu citer tous les auteurs qui se sont occupés, à notre connaissance, de la recherche radiographique des corps étrangers de l'œil. A ceux qui ont été nommés il convient d'ajouter Coppez, Stern, de Philadelphie ; Hansell, Hovard, Leonard, Lowe, Ring, Thompson, Bullar, Boucheron, Treacher, Collin, Nettelschap, T. Thompson, Cargill, Hardy, Stair, Grusberg, Schumann, Starkey, Lagrange, Burière, Groenow, Bourgeois, Béclère, etc., etc., dont les observations réunies, forment un cadre déjà important.

D'après la statistique de Coppez (Congrès de Paris, 1890), les corps étrangers des parties profondes de l'œil sont le plus souvent des fragments de fer ou d'acier. Après eux se placent, par ordre de fréquence décroissante, les grains de plomb, les éclats de cuivre, de pierre, de zinc, de bois. Presque tous les corps intra-oculaires seraient donc visibles à la radiographie en faisant toutefois une très forte restriction pour le bois très dur et volumineux pouvant seuls apparaître nettement au sein des tissus épais.

Une statistique importante de Abt (Thèse de Nancy, 1901), portant sur 108 radiographies effectuées pour les corps étrangers de l'œil et de l'orbite indique :

95 résultats positifs, 13 résultats négatifs, et dans trois de ces derniers, l'absence de corps étrangers était presque certaine.

Ces radiographies ont permis de déceler :

57 corps étrangers dans l'œil ;

18 dans l'orbite ;

1 dans la paupière.

Dans 16 cas, le siège du corps étranger n'a pas été indiqué.

Quant à la nature des corps étrangers, voici comment ils se décomposent :

Acier	30
Plomb	17
Cuivre	15
Fer	4
Verre	1
Pierre	1
Indéterminée	56

En ce qui concerne le volume, nous trouvons tous les intermédiaires entre la balle de revolver et un éclat métallique de $0^{mm},4 + 0^{mm},1$.

Lorsque la localisalion du corps étranger peut être nettement faite à l'ophtalmoscope, nous pensons qu'il faut recourir à cette méthode à cause de sa simplicité et des résultats précis qu'elle fournit, quitte évidemment à employer les autres procédés comme vérification.

Quand la méthode ophtalmoscopique n'est pas praticable, et le cas est des plus fréquents, il reste la radiographie et le sidéroscope. Holleren conclut que la détermination peut se faire avec exactitude par l'un ou par l'autre procédé. Cependant si la localisation se fait aussi facilement par les deux méthodes quand le corps étranger occupe le segment antérieur de l'œil, elle est plus facile et plus précise par la radiographie lorsque le segment postérieur est intéressé.

La radiographie a l'avantage de donner une bonne appréciation de la forme et de la masse du corps étranger. Le sidéroscope ne peut fournir que des données sur la masse, mais il fait connaître ce que ne peut indiquer la radiographie, si le corps étranger est magnétique ou non, c'est-à-dire susceptible d'être extrait par l'électro-aimant.

La radiographie seule indiquera les corps étrangers non magnétiques.

La petitesse du corps étranger métallique est évidemment une difficulté à sa reconnaissance et sa localisation. Nous avons vu cependant déceler un éclat d'acier du poids de 1 milligramme, un éclat de fer de 2 milligrammes, tous deux extraits par M. Rohmer avec un plein succès. Dans un cas, l'acuité visuelle est redevenue normale, et, dans l'autre, deux tiers.

Si la grande ténuité des corps étrangers rend difficile leur détermination radiographique, le fait même de leur petite masse est un obstacle à leur pénétration profonde, à moins d'une énorme force de projection, d'une forme et d'une orientation très favorables du corpuscule. Aussi nous pensons qu'en pratique, il doit être très rare de rencontrer des corps étrangers métalliques profondément situés et trop petits pour pouvoir être décelés par les radiographies soigneusement exécutées.

Th. Guilloz,

Professeur agrégé à la Faculté de médecine de Nancy.

X. — L'ABDOMEN

On sait combien il est difficile au chirurgien de poser un diagnostic précis dans le cas de tumeur de l'abdomen et combien serait précieuse l'exploration radiographique ou radioscopique, si elle pouvait alors fournir des renseignements utiles. Mais il suffit d'examiner un cliché de l'abdomen pour se convaincre que très souvent il est loin d'en être ainsi, du moins en l'état actuel de la radiographie. Cependant l'exploration par les rayons X peut quelquefois aider au diagnostic, ainsi qu'on le verra ci-dessous. Nous examinerons successivement, d'abord ce qu'on voit de cette région abdominale sur le cliché, puis ce que l'on voit sur l'écran fluorescent.

CHAPITRE PREMIER

EXAMEN RADIOGRAPHIQUE

a) Si la partie lombaire de la colonne vertébrale, ainsi que les dernières vertèbres dorsales se détachent nettement sur un cliché radiographique, les dernières côtes sont déjà bien moins visibles que celles qui se projettent au niveau de la cage thoracique. On aperçoit bien en haut l'ombre portée par le bord convexe du foie, mais cette ombre est ordinairement floue, parce que les mouvements d'inspiration et d'expiration ont déplacé l'organe, dont le bord inférieur d'autre part ne laisse pas de trace visible sur le cliché. Sur un cliché que nous avons obtenu en sept à huit secondes, le sujet ayant retenu sa respiration pendant ce temps, l'ombre portée par le diaphragme fut nette au niveau du foie et floue au niveau de l'estomac, auquel les battements du cœur avaient imprimé des mouvements. Dans certains cas où des tumeurs sont développées à ce niveau, on aperçoit bien sur le cliché une zone dont la teinte plus claire est due à l'épaisseur plus grande de la région correspondante du corps traversée par les rayons X. Mais quel est l'organe intéressé ? En général, la palpation et la percussion renseignent tout aussi bien que la radiographie, sinon mieux. Toutefois, nous rapporterons plus loin le cas d'une malade, au sujet de laquelle un cliché radiographique put fournir des renseignements utiles, et les cas de ce genre, sans être fréquents, ne doivent cependant pas être qualifiés de rares.

Les divers organes contenus dans la cavité abdominale se laissent traverser à peu près tous également par les rayons X, et il n'y a pas entre eux à ce sujet des différences suffisantes pour qu'ils puissent être aperçus sur le cliché ; leur mobilité est, d'autre part, une cause d'insuccès pour le radiographe.

Les rayons X jouent donc ici un rôle moins important que pour le thorax. Toute la région sous-diaphragmatique présente, en général, une teinte sensiblement uniforme, avec çà et là des zones où l'impression a été plus forte, ce qui indique que des gaz ont distendu l'intestin à ces niveaux.

b) Dès le début de la radiographie, MM. J.-Ch. Roux et Balthazard (1),

(1) *C. R. Académie des sciences*, 1896.

dans leurs études sur l'estomac de la grenouille, imaginèrent, pour rendre visibles sur la plaque les contours de l'organe, de mélanger aux aliments du sous-nitrate de bismuth dans la proportion de 0,20 par centimètre cube. Afin de pouvoir suivre les mouvements de l'organe à étudier, ils prirent des radiographies à intervalles réguliers de dix en dix secondes, avec des temps de pose d'une seconde. Leurs expériences, couronnées de succès, montrèrent des faits physiologiques intéressants, résultats d'autant plus remarquables en raison de l'époque à laquelle elles furent faites.

« Vingt ou trente secondes après l'ingestion des aliments, les contractions ont le plus de netteté. Les ondes naissent vers le milieu de la grande courbure, la paroi de l'estomac s'aplatit et se creuse d'un léger sillon à ce niveau ; puis l'onde progresse, atteignant de nouvelles fibres musculaires, tandis que les fibres précédentes se relachent. A mesure qu'elles approchent du pylore, le sillon qu'elles limitent se creuse davantage sur la grande courbure comme sur la petite, si bien qu'à la fin l'estomac est divisé en deux parties inégales, la partie inférieure forme un antre prépylorique où les matières sont tassées par l'onde qui progresse vers le pylore toujours fermé. A la fin, lorsque l'onde est à 3 ou 4 millimètres du pylore, les matières passent dans la première partie de l'intestin grêle, qui se contracte aussitôt et chasse les matières plus loin. Pendant ce temps, une onde nouvelle se forme sur la grande courbure de l'estomac. Elle apparaît au moment où se forme l'antre prépylorique, comme pour y chasser les matières contenues dans la cavité de l'estomac. Quelquefois cette onde meurt ; en général, elle progresse comme la première. Sur ces radiographies, ces ondes se succédaient toutes les trente secondes. D'autre part, sur l'estomac viennent mourir les contractions œsophagiennes ; elles descendent, s'étalent sur la grande courbure, qu'elles dépriment, puis disparaissent. Elles ne semblent pas se continuer par les contractions de l'estomac. »

M. Fauveau de Courmelles employa chez l'homme le même procédé d'ingestion de sous-nitrate de bismuth pour déceler l'estomac sur la plaque (1). Voici d'ailleurs comment il rend compte de ses expériences. Après avoir fait ingérer au malade 10 grammes de sous-nitrate de bismuth pendant son repas, qui, ce jour-là fut assez abondant, diverses radiographies sur plaques 30 × 40 furent prises, mais la première seule donna sur le cliché des ombres que l'auteur interpréta de la manière suivante : « Une sorte de masse bi-trapézoïdale à petites bases accolées représente l'estomac ; des aspects moins noirs, latéraux, indiquent vraisemblablement des portions sclérosées de l'organe sécréteur du suc gastrique, les côtes se détachent à droite nettement, à gauche d'une façon vague avec des plans divers superposés, de lecture assez difficile. Le foie, plus pâle, se trouve très éloigné de l'estomac, comme s'il était également rétracté. »

(1) *Académie de médecine*, 1899, et *Annales d'électrobiologie*, 1900.

M. Foveau de Courmelle, répéta sans succès son expérience sur plusieurs de ses amis, et ne fut guère plus heureux sur lui-même.

c) Si l'on ne vise pas les calculs décelables par la radiographie, question étudiée dans un autre chapitre, on peut dire que le rein ne se prête pas mieux lui-même que l'estomac à l'examen aux rayons X. Toutefois, E. Hennecard, en présentant à la Société belge de chirurgie plusieurs radiographies montrant des calculs rénaux, dont l'existence réelle fut confirmée par l'intervention chirurgicale, cite un cas d'ectopie du rein décelé par les rayons X. « La radiographie montre, dit-il, l'ombre d'un rein ectopié et incliné dans son ensemble suivant son axe vertical. »

A propos d'une autre radiographie relative à une femme de trente ans ayant une tumeur volumineuse en avant de la région lombaire, le même auteur écrit : « Les caractères des surfaces et de netteté des ombres des reins ont permis d'éliminer d'emblée la possibilité d'une lésion de ces organes. » L'opération faite, Depage confirma le diagnostic de périnéphrite suppurée posé par ce chirurgien.

« Il est donc très utile, ajoute M. Hennecard, de joindre aux signes cliniques les données que peut fournir la radiographie, pour établir le diagnostic des affections chirurgicales des reins. En ce qui concerne la lithiase, un résultat radiographique positif suffit pour lever toute espèce de doute et permet d'opérer à coup sûr. Il indique même approximativement au chirurgien en quelle partie de l'organe se trouve le corps étranger. Un résultat négatif ne peut en aucun cas être opposé aux symptômes cliniques. »

Cette observation d'ectopie est sans doute très intéressante; mais en l'état actuel de la radiographie, il n'est malheureusement pas possible d'obtenir, dans l'immense majorité des cas, l'ombre portée par les reins sur la plaque radiographique. Pour notre part, nous ne l'avons jamais obtenue à l'état normal, malgré une pratique déjà longue et presque journalière.

d) L'intestin grêle avec sa mobilité extrême semble échapper au domaine de la radiographie, et c'est seulement par suite de l'existence de gaz intestinaux que l'on peut quelquefois soupçonner sa présence.

Le côlon ascendant et le côlon descendant, plus fixes, se prêtent mieux à l'examen. Aussi il n'est pas rare de trouver sur les clichés une traînée noirâtre indiquant que le côlon distendu par le gaz a refoulé les organes voisins, ce qui a permis aux rayons X d'impressionner plus fortement la plaque en ces régions. On peut quelquefois suivre la direction de cette partie de l'intestin sur une longueur de 10 à 20 centimètres, comme nous avons pu le faire sur un cliché obtenu en 30 secondes. Ce même cliché montre en outre une zone plus foncée, de forme ovalaire, située dans le flanc gauche, et appartenant sans doute à un paquet d'anses intestinales, qui, vue la brièveté de la pose, n'ont pas eu le temps de chasser le gaz qu'elles contenaient; cette zone semble d'ailleurs limiter la partie inférieure de l'estomac.

e) Si la radiographie n'a pas donné jusqu'ici dans l'examen des organes importants que nous venons de citer tous les renseignements que pouvait

faire espérer cette magnifique méthode d'exploration, il n'en est pas de même pour la colonne vertébrale qui, sur les bons clichés que l'on peut couramment obtenir aujourd'hui, se détache très bien en teinte claire sur un fond grisâtre et sans grands détails.

Les déviations du rachis, les fractures des vertèbres, les tumeurs osseuses de cette région sont assez facilement mises en évidence sur la plaque. Il nous a été plusieurs fois possible, dans le service radiographique de l'hôpital suburbain de Montpellier, d'obtenir des clichés montrant nettement une fracture de la colonne vertébrale.

Sick (1) rapporte un cas dans lequel il a pu voir sur un cliché radiographique un sarcome de la quatrième lombaire qui apparaissait sous la forme d'une zone ronde et claire comme celles qui correspondent aux os.

Kellner (2) a publié un cas de *trichosis lombalis* avec *spina bifida occulta*. Il s'agissait d'un jeune garçon de quatorze ans qui présentait au niveau des quatrième et cinquième vertèbres lombaires une surface de 13 centimètres de diamètre recouverte de poils longs de 30 centimètres. L'état de la colonne vertébrale, qu'il n'était pas possible de reconnaître par un examen externe, fut révélé par la radiographie. La cinquième vertèbre lombaire était complètement divisée ; on voyait des deux côtés les restes des arcs vertébraux convergeant vers la ligne médiane, sans cependant s'unir à l'apophyse épineuse. La quatrième vertèbre lombaire paraissait également divisée dans sa partie inférieure.

Nous possédons également la radiographie d'un cas de *spina bifida*. Le cliché montre à peu près les mêmes lésions que celles décrites précédemment.

Les corps étrangers de l'intestin sont très fréquents chez les enfants. Ils sont formés d'objets les plus divers mis imprudemment dans la bouche et avalés par mégarde. Les cas de pièces de 5 et 10 centimes trouvées à la radioscopie dans l'œsophage sont nombreuses et une telle recherche est facile étant donnée la fixité relative de l'organe. Mais les objets de plus petite dimension qui passent dans l'estomac ne sont plus aussi faciles à déceler, ou plutôt ne l'étaient pas aussi facilement quand la durée de la pose exigée au début de la radiographie permettait à l'estomac ou à l'intestin de déplacer le corps étranger pendant que la plaque était soumise aux rayons X. On n'apercevait souvent sur le cliché aucune trace de la présence du corps étranger et l'on était satisfait quand on avait une silhouette très floue représentant vaguement l'objet avalé. Aujourd'hui, quelques secondes suffisent pour préparer une bonne radiographie chez un enfant et, si la mobilité de l'estomac et de l'intestin apporte encore quelque gêne, celle-ci est en quelque sorte bien diminuée, on pourrait presque dire négligeable. Chez un adulte la question serait plus difficile à résoudre, l'épaisseur du sujet

(1) *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*, 1901, p. 189.
(2) *Id.*, 1901, p. 220.

étant beaucoup plus grande, mais comme l'on peut actuellement, pour le cas particulier dont il est question ici, obtenir une épreuve suffisante en vingt ou trente secondes de la région abdominale chez un sujet de corpulence moyenne, la recherche d'un corps étranger aboutira en général.

Mickulicz (1) rapporte le cas d'un malade qui avait avalé un dentier. La radiographie montra qu'il était au niveau du cardia.

Bazy (2) a présenté à la Société de chirurgie la radiographie d'un enfant ayant avalé une broche qui ne sortit par l'anus que 72 jours après.

Nous avons obtenu en 1897 un cliché montrant assez bien la silhouette d'une vis qui avait été avalée par un enfant de quatre ans. Le corps étranger se trouvait à ce moment dans le côlon ascendant. L'objet fut rejeté par l'anus quelques jours après.

Il est d'ailleurs inutile de multiplier les citations de cas analogues, car ils ne constituent plus une rareté.

(1) *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*, 1901, p. 239

(2) *Société de chirurgie*, 1897.

CHAPITRE II

EXAMEN RADIOSCOPIQUE

Plus que pour toute autre région examinée, il est tout d'abord nécessaire de s'assurer que l'écran est également fluorescent dans toute son étendue, car dans le cas contraire on est amené à rapporter à l'état des organes traversés des différences de luminosité dont la cause est due à des altérations de l'écran lui-même. Il suffit d'ailleurs de déplacer cet écran pendant l'examen même pour s'assurer de l'état de fonctionnement; les différences de luminosité doivent en effet rester immobiles ou se déplacer suivant qu'elles sont dues à l'écran ou au contraire aux organes traversés.

L'examen radioscopique offre cet avantage de permettre de suivre les ombres dans leurs déplacements causés par la respiration et de donner des contours nets, quoique mobiles, là où la radiographie ne donnait que des limites indécises. Cette marque s'applique surtout à l'examen du cœur, du foie et de l'estomac dans les parties où ces deux organes sont limités en haut par le diaphragme.

A l'état normal, si l'on voit bien la limite supérieure du foie, il n'en est pas de même de sa partie inférieure.

Le contour de l'estomac, également très visible à sa partie supérieure, ne l'est plus à sa partie inférieure.

On aperçoit fréquemment au niveau de cet organe chez des sujets en bonne santé et chez des malades une zone lumineuse à bords très nets qui indique la présence de gaz intérieurs.

Dans ce cas, si l'on fait boire du lait par exemple à la personne examinée, on voit le liquide s'étaler en nappe sur la partie lumineuse et l'obscurcir passagèrement. On a également recommandé, pour rendre visible les contours de l'estomac, l'ingestion de sous-nitrate de bismuth en cachets.

Wolf Becher (1) introduitune sonde stomacale; puis, pendant que le tube fonctionne, il fait pénétrer du bismuth dans l'organe. On voit alors se détacher du tube une silhouette sombre de forme allongée qui délimite la partie

(1) *Deutsche medicinische Wochenschrift*, 1901, nº 2.

inférieure de l'estomac. Il n'est pas possible encore de donner des notions générales relativement à l'interprétation de l'aspect radioscopique de la région abdominale. Ce que nous croyons pouvoir faire de mieux à ce sujet, c'est de citer quelques cas dans lesquels l'examen de l'abdomen à l'écran fluorescent a donné quelques indications utiles. Ces cas sont d'ailleurs extraits du registre d'observations du service radiographique de M. Imbert à l'hôpital suburbain de Montpellier.

Avec un malade chez lequel les signes cliniques faisaient penser à un kyste hydatique du foie ouvert dans les bronches, on voyait sur l'écran du côté droit une voussure très prononcée et triangulaire du diaphragme. Au-dessous, dans la région du foie, apparaissait une tache très sombre, assez limitée, de la grosseur d'un gros œuf.

La radioscopie abdominale peut quelquefois non seulement confirmer un diagnostic comme nous venons d'en citer un exemple, mais fournir quelques indications utiles pour fixer un diagnostic indécis, comme dans le cas suivant :

Il s'agissait d'une malade qui se plaignait depuis cinq à six ans d'une douleur assez vive dans le flanc droit, où l'on reconnaissait, à la palpation, l'existence d'une tumeur à surface lisse triangulaire ; mais de divers chirurgiens qui avaient examiné la malade, les uns concluaient à une tumeur rénale, tandis que le professeur agrégé Lapeyre, qui adressa la malade au service radiographique de l'hôpital suburbain de Montpellier, penchait pour le diagnostic de tumeur développée aux dépens du foie. A l'examen radioscopique on aperçut au-dessous du diaphragme, à droite, en pleine région du foie, une ombre plus sombre que la région environnante. Une intervention fut décidée, et l'on trouva sur le bord postérieur du foie un kyste de la grosseur des deux poings.

Une application intéressante de la radioscopie a été faite par G. Leven (1) pour vérifier sur de jeunes enfants les conclusions tirées par lui de l'expérimentation sur des animaux (2). Il avait trouvé que les liquides restent chez le chien dans l'estomac un temps minimum de 15 minutes avant de commencer à pénétrer dans l'intestin.

Il a vu, au moyen de la radioscopie, le niveau de l'eau rester constant pendant le premier quart d'heure chez l'enfant, sans qu'en aucun moment de l'observation radioscopique, il ait perçu une seule vague à la surface liquide.

On voit par ces quelques exemples que la radioscopie abdominale peut, dans quelques cas, fournir des indications utiles, mais ces cas sont relativement rares malgré les progrès déjà réalisés quant à la technique de la production de rayons X.

Docteur Gagnière,

Directeur des travaux de physique biologique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

(1) *Société de biologie*, décembre 1902.
(2) *Société de biologie*, novembre 1902.

XI. — RADIOGRAPHIE OBSTÉTRICALE

GÉNÉRALITÉS

L'accoucheur, en appliquant à l'obstétrique la radiographie, poursuit la résolution de problèmes, concernant les uns le fœtus, les autres la détermination de la forme et des dimensions de la ceinture osseuse que le fœtus doit franchir au moment de l'accouchement.

Il serait très désirable, dès le début de la grossesse, de pouvoir constater la présence de l'œuf dans la cavité utérine, de pouvoir observer le développement du fœtus dans le cours de la grossesse et enfin, au voisinage du terme, de vérifier la position du fœtus, ses dimensions et, en particulier, les dimensions de la tête fœtale. Nous verrons dans l'exposé que nous allons faire de la radiographie fœtale que, jusqu'à présent, les radiographes ne sont pas arrivés à des résultats satisfaisants ; nous étudierons les conditions qui rendent la solution du problème si difficile et qui font que, sur le vivant, on n'a pas pu obtenir de reproduction du squelette fœtal.

Pour l'organisme maternel, ce qui intéresse l'accoucheur concerne la forme générale et les dimensions du bassin osseux ; dans certains cas exceptionnels, il peut observer des lésions, telles que fractures, tumeurs osseuses, mais la région la plus utile à étudier est le détroit supérieur, dont la forme et les dimensions modifient le mécanisme de l'accouchement. L'excavation pelvienne, le détroit inférieur, présentent aussi un grand intérêt, mais les causes d'erreurs qui rendent les mensurations du détroit supérieur très difficiles, sont encore plus importantes pour l'excavation et le détroit inférieur ; dans ces régions, en effet, les points dont il serait intéressant de déterminer la distance ne sont pas situés dans un même plan nettement déterminé par une arête osseuse comme pour le détroit supérieur.

Le détroit supérieur étant étudié dans sa forme et ses dimensions pendant la grossesse, l'accoucheur pourrait tirer de ces mensurations des conclusions thérapeutiques importantes. Malheureusement, le kyste fœtal gêne l'exploration, il projette une ombre sur une partie de la ceinture pelvienne.

Après l'accouchement, au contraire, le détroit supérieur peut être repro-

duit exactement, mais cette étude n'a qu'un intérêt rétrospectif, dont l'accoucheur peut profiter, il est vrai, par la suite.

Les conclusions de ces examens ne sont pas absolues : en effet, même en admettant que les dimensions de la tête fœtale et du bassin soient exactement connues, il est un facteur variable à chaque accouchement, c'est le degré d'ossification de la tête fœtale et la réductibilité compatible avec l'intégrité de l'organisme de l'enfant : ces variations sont impossibles à évaluer et rendent la terminaison de l'accouchement difficile à pronostiquer. Mais si les mensurations de la tête fœtale ne peuvent être obtenues, si sa malléabilité n'est pas appréciable, l'accoucheur peut pratiquer des mensurations de la ceinture pelvienne avec une exactitude suffisante pour que les résultats de l'exploration clinique du bassin soient complétés, ce qui, dans un certain nombre de rétrécissements du bassin, fournit un point d'appui solide aux déductions thérapeutiques.

CHAPITRE PREMIER

RADIOGRAPHIE FŒTALE

Dès le mois de mars 1896, la découverte récente de Röntgen est appliquée à l'obstétrique ; les premières expériences sont faites avec des pièces conservées depuis longtemps dans l'alcool, et les résultats de ces expériences, faites par MM. Chappuis et Varnier, sont communiqués à l'Académie de médecine (1) à la séance du 18 mars 1896.

Ces expérimentateurs radiographient des fœtus de trois mois et demi et de huit mois, contenus dans l'utérus, et ils constatent que, au voisinage du terme, la paroi utérine doublée par le placenta, se laisse traverser par les rayons de Röntgen sur une épaisseur de 14 centimètres et permettent de reproduire le squelette fœtal avec une grande netteté. MM. Chappuis et Varnier, pour montrer que la résistance des pièces fraîches n'est pas notablement supérieure à celle des pièces conservées dans l'alcool, font des radiographies comparatives sur des cadavres frais de cobayes gravides et obtiennent des résultats très satisfaisants.

Mais, dès ce moment, Davis (2) reconnaît les difficultés qui entourent la radiographie de l'utérus gravide : impossibilité de compter sur une position fixe du fœtus, épaisseur des tissus, mouvements de respiration de la mère ; il radiographie une jeune fille de dix-huit ans, enceinte de huit mois, et après une pose d'une heure, il n'a obtenu aucun résultat.

Davis montre que les conditions sont très différentes sur la femme vivante et sur les pièces conservées dans l'alcool.

Benedict (3) présente des radiographies de deux utérus gravides enlevés par Schauta pour des fibromes ; dans les deux cas, grossesses de six mois et de cinq mois, on voit très bien les squelettes du fœtus ; l'exposition avait duré trente minutes. L'expérimentateur s'est placé dans des conditions qui se rapprochent beaucoup de la réalité, le résultat est très encourageant, et

(1) *Bulletin de l'Académie de médecine*, séance du 18 mars 1896, et *Annales de gynécologie et d'obstétrique*, t. XLV, p. 186 et 281.

(2) DAVIS, *American Journal of the medical sciences*, mars 1896, p. 268.

(3) BENEDICT, *Wiener medicinische Wochenschrift*, 1897, n° 18, p. 825, séance du 24 mars 1897 du *Wiener medizinischer Club*.

cependant, sur la femme enceinte, il éprouve un insuccès complet malgré des poses d'une heure et demie.

Oudin et Barthélemy (1), puis Varnier (2), ont éprouvé les mêmes insuccès en opérant sur le vivant à différents âges de la grossesse ; aussi, au commencement de 1897, Lévy-Dorn (3) écrivait-il : « L'obstétrique n'a encore tiré aucun profit des rayons de Röntgen ; il ne semble pas qu'il ait été fait de tentatives de mensurations du bassin rétréci, l'utérus gravide n'a pas été radiographié sur la femme vivante; on n'a pu obtenir quelque chose que sur les petits animaux et sur les utérus extirpés. »

Mullerheim (4) cherche sur le cadavre à déterminer les conditions du problème ; il s'est, comme Davis, rendu compte que les mouvements du diaphragme, les pulsations des vaisseaux, les mouvements de l'enfant sont des causes d'erreur importantes. Il radiographie des fœtus placés dans l'abdomen de cadavres et il publie des représentations schématisées d'une présentation du sommet avec engagement, une présentation de la face, une gémellaire et une présentation transversale.

Varnier (5) expérimente sur des cadavres de femmes enceintes et, dans trois cas, il obtient dans le décubitus dorsal des clichés sur lesquels on peut apercevoir la tête fœtale et une partie de la colonne vertébrale; l'auteur conclut en disant : « Ainsi que devaient le faire prévoir les résultats obtenus sur le cadavre conservé dans l'alcool, ce que l'on voit le mieux sur le fœtus frais contenu dans l'utérus, c'est la tête et la colonne vertébrale ; les os des membres se perdent dans l'espèce de brume qui marque la place de l'utérus et voile également la portion rétro-utérine du squelette maternel. »

Sur le vivant, Varnier rapporte les tentatives qu'il a faites dans deux séries d'expériences : dans la première série, avec des poses de quinze à vingt minutes, en se servant d'une bobine de 25 centimètres d'étincelle et d'un tube bi-anodique à réservoir de potasse, il constate que jusqu'à quatre mois et demi, on voit le bassin en totalité, d'autant plus nettement que la grossesse est plus jeune, mais on ne perçoit aucune trace du contenu utérin. A partir de cinq mois, l'utérus et son contenu donnent un voile mal limité, sans contours nets, qui cache la paroi postérieure du pelvis et de la colonne ; on ne trouve aucune trace du fœtus, on devine, et il faut pour cela « les yeux de la foi », une pâle silhouette de la tête fœtale dans l'aire pelvienne.

Dans la seconde série d'expériences, avec des poses de une minute trois quarts à quatre minutes, en se servant d'une bobine de 40 à 50 centimètres d'étincelle, Varnier n'a obtenu, dans sept expériences, que des résultats négatifs, et cela que le fœtus soit vivant ou mort.

(1) *Bulletin de l'Académie de médecine*, séance du 26 janvier 1897.

(2) Varnier, Radiographie de l'utérus gravide. *Comptes rendus de la Société d'obstétrique, de gynécologie et de pædiatrie*, avril 1899.

(3) Lévy-Dorn, *Deutsche medicinische Wochenschrift*, 1897, n° 8, p. 119.

(4) Mullerheim, *Deutsche medicinische Wochenschrift*, 1898, n° 39, p. 619.

(5) Varnier, Radiographie de l'utérus gravide. *Comptes rendus de la Société d'obstétrique, de gynécologie et de pædiatrie*, 1899, séance du 31 mars 1899, p. 38.

Varnier conclut que c'est en expérimentant sur le cadavre que nous viendra la solution du problème : dans la seconde moitié de la grossesse, il y a un temps de pose limité, variable avec chaque ampoule, qu'il faut atteindre et ne pas dépasser sous peine d'aboutir à un échec.

Cette question du temps de pose est certainement très importante ; en se servant de tubes de Crookes de 20 centimètres de diamètre, excités par un courant induit capable de donner une étincelle blanche, très nourrie, de 60 centimètres de longueur, le primaire étant de 110 volts avec 5 à 6 ampères, on peut réduire beaucoup le temps de pose ; et malgré ces conditions favorables, on n'obtient que des radiographies fœtales très incomplètes, où ne sont reproduites que les parties du squelette fœtal voisines de la plaque, et la région reproduite est toujours d'une étendue très faible.

Varnier, Bouchacourt (1) ont employé des attitudes variées, espérant obtenir ainsi de meilleurs résultats. Varnier laisse la femme dans le décubitus dorsal et place la pellicule du côté du dos de l'enfant, l'ampoule étant placée du côté opposé du ventre, il obtient ainsi une radiographie de profil. Pour obtenir une radiographie à incidence postérieure, la malade étant toujours dans le décubitus dorsal, le tube est placé sous la table et la plaque placée sur le ventre de la malade.

Bouchacourt place les malades dans le décubitus latéral, car dans ces conditions il se produit un étalement du ventre qui a pour conséquence de diminuer notablement l'épaisseur des parties que les rayons doivent traverser avant d'arriver sur la surface photographique. Bouchacourt obtient des fragments de squelette fœtal qui sont dans le voisinage immédiat de la plaque photographique.

En résumé, nous voyons que malgré le nombre des expériences, malgré la science des expérimentateurs, on n'a pu jusqu'à présent obtenir d'images fournies par le squelette fœtal en opérant sur le vivant ; sur le cadavre d'une femme enceinte, le résultat est le même, alors que, sur l'utérus extirpé, l'image du squelette fœtal se reproduit assez nettement.

Quelles sont donc les conditions qui rendent la radiographie fœtale si difficile à obtenir ?

Nous avons vu que Davis, Mullerheim, dans leurs essais, insistent sur un certain nombre de conditions telles que les mouvements du fœtus, les mouvements de respiration de la mère, l'épaisseur des tissus à traverser, les pulsations des vaisseaux ; il en est d'autres qu'il faut signaler, c'est la présence du liquide amniotique et celle du placenta.

Les *mouvements du fœtus* ont une influence incontestable, et cela surtout lorsqu'on se sert de temps de pose prolongés de dix à quinze minutes ; les résultats partiels satisfaisants obtenus par Varnier avec des poses relativement courtes s'expliquent, parce que, pendant cette courte pose, le fœtus n'a

(1) Bouchacourt, De la radiographie du fœtus dans le ventre de la mère. *Obstétrique*, mars 1900.

pas bougé. Bouchacourt croit avoir remarqué que pendant la pose les mouvements de l'enfant sont exagérés : chez quelques malades la paroi abdominale ondule presque continuellement, l'agitation du fœtus se prolonge pendant plusieurs heures. Une plaque d'aluminium reliée à la terre et placée entre le tube et la paroi diminue cette action. Ce fait n'a pas été signalé par d'autres auteurs.

Mais sans même admettre l'exagération des mouvements fœtaux sous l'influence des rayons, on comprend facilement que les mouvements normaux des enfants soient une cause d'insuccès, et que la tête fixée dans le bassin ait été seule aperçue.

Outre les mouvements actifs du fœtus, les *mouvements des organes maternels* peuvent, en déplaçant l'utérus, arriver au même résultat ; tels sont les mouvements respiratoires normaux de la mère et, à plus forte raison, si les sujets soumis à la pose sont dans l'état décrit par Bouchacourt lorsqu'il dit : « La plupart des femmes sont terrorisées pendant la séance, elles respirent avec angoisse, par saccades et se contractent violemment à chaque phénomène qu'elles jugent être insolite et dangereux. » Toutes les malades ne sont pas terrifiées, mais toutes respirent, et le déplacement du diaphragme entraîne des oscillations des organes abdominaux qui nuisent à la netteté de l'image. Les mouvements du fœtus et de la mère n'expliquent du reste pas à eux seuls les insuccès obtenus : car lorsqu'on opère sur le cadavre d'une femme enceinte ou bien sur une femme vivante dont l'enfant est mort, les résultats que l'on obtient sont encore nuls.

L'*épaisseur des tissus* à traverser augmente encore les difficultés, et cela d'autant plus que les détails fournis par le squelette fœtal se superposent aux ombres fournies par le squelette maternel ; or, les os du fœtus se laissent plus facilement traverser que les os de l'adulte, et on prévoit que si la pose est prolongée, on obtient le squelette maternel seul, les os du fœtus n'ayant pas arrêté les rayons ; si, au contraire, avec une pose courte et un tube peu pénétrant, on pouvait avoir une image du squelette fœtal, le squelette maternel, en revanche, ne serait pas visible sur l'épreuve. C'est du reste ce qui arrive si, en radiographiant un utérus gravide extirpé, on se sert de tubes très puissants : tout est traversé, et on n'obtient pas d'image du squelette fœtal. L'influence de l'épaisseur de la paroi utérine est mise en évidence par les résultats bien meilleurs obtenus dans la grossesse extra-utérine par Imbert et Garrigou.

Les *pulsations des vaisseaux* et le sang circulant dans les vaisseaux hypertrophiés par la grossesse au niveau des ligaments larges sont des conditions défavorables ; il en est de même du sang circulant dans l'épaisseur de la paroi utérine et dans le grand lac sanguin qui existe dans le placenta ; à ce point, en effet, on peut évaluer grossièrement la couche de sang à 3 ou 4 centimètres ; ce sang est animé d'un mouvement circulatoire assez lent, cela est vrai, mais l'ischémie obtenue avec la bande d'Esmarck sur un membre rend beaucoup plus nette la radiographie, et l'importance de la

couche sanguine est cependant beaucoup moindre que dans le placenta. Toutefois, cette influence de la circulation utéro-placentaire n'existe pas seule : sur le cadavre de la femme enceinte on n'obtient encore que des insuccès, l'arrêt de la circulation est complet, mais il reste la couche de sang contenue dans le placenta et la paroi utérine. Dans l'utérus extirpé, les résultats sont favorables, cela vient de ce qu'une grande partie du sang s'est évacuée pendant l'ablation de la pièce.

Pour Varnier, les insuccès des tentatives de radiographie fœtale viennent de *l'inégalité des distances* qui séparent la plaque de la portion pelvienne et de la portion abdominale de l'utérus gravide, et enfin de l'épaisseur inégale des parties à traverser.

Ces conditions sont en effet très défavorables, et sur le thorax elles se vérifient aisément dans le décubitus dorsal : la partie postérieure des côtes et la colonne vertébrale sont bien reproduites, mais le sternum et les portions antérieures des côtes sont à peine visibles. C'est pourquoi, il faut placer les malades dans le décubitus ventral, mais cette position théorique est rejetée par Varnier comme impossible à appliquer. Bouchacourt n'a pu, dans cette position, obtenir des résultats bien satisfaisants.

Il existe une autre cause d'insuccès à étudier, c'est la *présence du liquide amniotique :* je l'ai signalée dans la thèse de Thévenot (1) en disant que le liquide renfermé dans la poche des eaux ne laisse pas passer les rayons X et que, par suite, l'image photographique ne peut être obtenue.

Cette explication n'est pas admise par Varnier, qui s'appuie sur ce fait que, si on radiographie un utérus frais gravide posé sur une plaque sensible dès sa sortie du ventre, on a une silhouette du fœtus aussi nette que celle qu'on obtient en radiographiant un utérus gravide conservé pendant des mois dans l'alcool.

Ce fait est incontestable, mais l'explication en est facile : au moment de l'ablation chirurgicale de l'utérus gravide, la paroi utérine présente une mollesse, une élasticité complète, et si on place l'utérus sur une surface plane, il s'affaisse, son épaisseur médiane diminue beaucoup, sa largeur augmente, et le liquide amniotique occupe surtout les parties latérales de l'utérus ; de là la facile pénétration des rayons dans la partie où se trouve le fœtus.

Cette déformation de l'utérus est facile à constater lorsque l'on fait des coupes gelées d'un utérus gravide : si on place sans précautions particulières un utérus dans la glace, il est très aplati et cela par son propre poids ; c'est pour remédier à cet inconvénient qu'il faut commencer le durcissement en plaçant l'utérus dans l'eau, dont on abaisse la température par le mélange réfrigérant, et on ne met la pièce dans la glace que lorsque la partie superficielle de l'utérus est gelée, et que par sa résistance elle empêche la déformation due à l'étalement.

(1) Thévenot, *Sur le mécanisme de l'engagement dans les bassins asymétriques.* Thèse de Lyon, juin 1899.

Bouchacourt a du reste fait des expériences qui montrent que, par l'examen à l'écran, on constate que la fluorescence diminue à mesure que la couche du liquide augmente en épaisseur ; en radiographiant un fœtus plongé dans un récipient en celluloïde, ce dernier étant incliné, on voit très nettement la dégradation de teinte correspondant à l'épaisseur décroissante du liquide amniotique, la partie très immergée du fœtus est à peine visible.

En résumé, on peut dire que les conditions qui rendent la radiographie fœtale d'application si difficile sur le vivant, sont multiples ; parmi les plus importantes, il faut signaler les mouvements fœtaux, l'influence de la circulation sanguine et du liquide amniotique. En employant des tubes très pénétrants et des temps de pose aussi courts que possible, on peut espérer profiter d'un instant d'immobilité fœtale ; en plaçant les malades dans le décubitus ventral ou latéral, en diminuant la quantité du liquide interposé, on peut espérer obtenir des reproductions partielles du fœtus, mais il semble difficile d'obtenir en même temps des images nettes du squelette fœtal et du squelette maternel.

Sur le fœtus en dehors de la cavité utérine, la radiographie est appelée à rendre de grands services, principalement en médecine légale, car avec son aide on peut en quelques minutes diagnostiquer l'âge du fœtus que l'on aura à examiner ; ces recherches ont été faites par Queirel et Acquavita et communiquées au Congrès de Marseille en 1898 (1) ; de nombreuses reproductions radiographiques accompagnent cette communication, M. Queirel nous avait permis de les reproduire, le manque de place nous en empêche.

(1) Étude de l'évolution du système osseux pendant la vie intra-utérine par la méthode radiographique. *Congrès de gynécologie, d'obstétrique et de pædiatrie.* Marseille, octobre 1898, p. 991.

CHAPITRE II

RADIOGRAPHIE DU BASSIN

Les accoucheurs, en radiographiant le bassin, cherchent à se rendre compte de la forme symétrique ou asymétrique du pelvis; ils cherchent de plus à mesurer les diamètres qui, dans les différents plans, caractérisent le bassin dans ses viciations variées : l'idéal serait de mesurer sur l'épreuve radiographique toutes les dimensions. Or, les rayons de Röntgen, issus du centre du foyer, vont en divergeant et forment un cône qui projette sur la plaque photographique une image agrandie des surfaces osseuses.

Cette ombre fixée par la plaque photographique subit un agrandissement qui varie avec la distance du tube de Crookes à la plaque : plus le tube est près de la plaque, plus cet agrandissement est grand; au contraire, en éloignant beaucoup le foyer du tube de Crookes, les rayons deviennent sensiblement parallèles : on comprend alors que la déformation subie puisse être nulle, lorsque le tube est à l'infini; mais il y a une limite pratique qui est déterminée par la nécessité de laisser les rayons pénétrer la région à examiner; or, avec les instruments que nous possédons actuellement, on ne peut porter cette distance à plus de 80 centimètres ou à 1 mètre sans augmenter beaucoup le temps de pose.

Les distances les plus fréquemment employées varient entre 50 et 70 centimètres et, dans ces conditions, les déformations dues à la divergence des rayons sont considérables, et cela d'autant plus que les différents plans à étudier dans le bassin sont obliques par rapport à la surface sensible, et cela quelle que soit la position que l'on donne à la malade.

La déformation des images est augmentée par ce fait que les différentes régions du bassin sont inégalement distantes de la plaque : les régions très voisines de la plaque sont peu déformées, les régions éloignées de cette dernière subissent des déformations considérables. Ces déformations sont soumises à des variations qui tiennent aux positions réciproques de l'ampoule, du détroit supérieur et de la plaque photographique, et même, en prenant de grandes précautions, on n'est jamais sûr de se placer toujours dans les mêmes conditions : l'orientation du plan du détroit supérieur est

variable chez la femme normale et présente des modifications très grandes dans les différents cas de viciations pelviennes.

Un moyen de mettre en évidence ces déformations et de montrer leur importance consiste à placer une lame de zinc ayant la forme d'un détroit supérieur sur un réseau composé de fils distants de 1 centimètre et tendus dans deux directions perpendiculaires l'une à l'autre ; en radiographiant ce système incliné à 45° par rapport à la plaque, c'est-à-dire dans l'orientation du détroit supérieur chez une femme couchée, on obtient une image très déformée de la lame.

La figure 350 représente la radiographie obtenue dans ces conditions ; on remarque que les carrés formés par les intersections des fils sont très irréguliers ; les plus inférieurs, situés au voisinage de la plaque, sont peu défor-

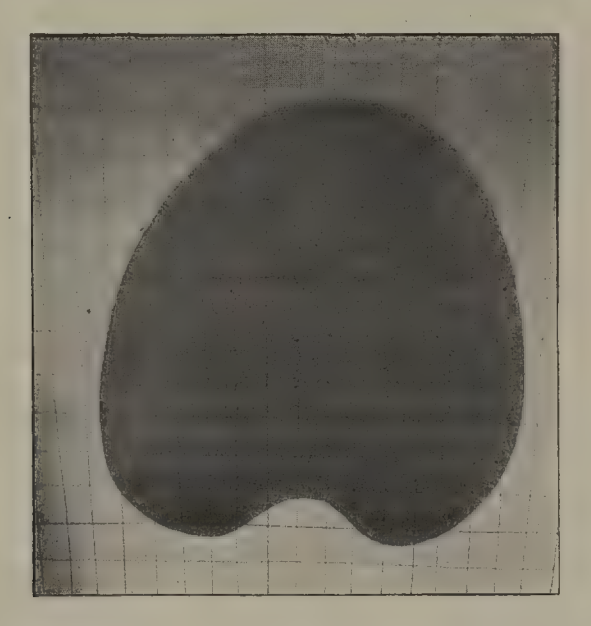


Fig. 350. — Radiographie d'une lame de zinc placée obliquement par rapport à la surface sensible : les fils sont en réalité parallèles et distants de 1 centimètre.

més ; les plus éloignés sont très déformés. Les fils transversaux sont de plus en plus distants à mesure que l'on s'éloigne de la plaque, les fils antéro-postérieurs vont en divergeant à partir de la ligne médiane : la déformation est donc très complexe.

La figure 351 représente, réduit à la même échelle, le système qui a servi à faire la radiographie précédente ; on voit combien sont différentes les deux images ; il est impossible de se faire une idée nette de la forme réelle de la lame en examinant la radiographie.

Étant donné l'importance de la déformation due à la direction divergente des rayons et à l'obliquité du plan à examiner par rapport à la surface sensible, les recherches des radiographes et des accoucheurs ont eu pour but

d'évaluer ou d'atténuer ces déformations. Les uns, comme Varnier, avec la radiopelvimétrie à longue portée, cherchent à faire disparaître la déformation en éloignant beaucoup le tube de la plaque ; d'autres, comme Freund le conseille, cherchent à rendre le plan du détroit supérieur parallèle à la surface sensible, de manière à rendre la déformation égale dans les régions antérieures et postérieures du bassin ; cet auteur arrive à ce résultat en

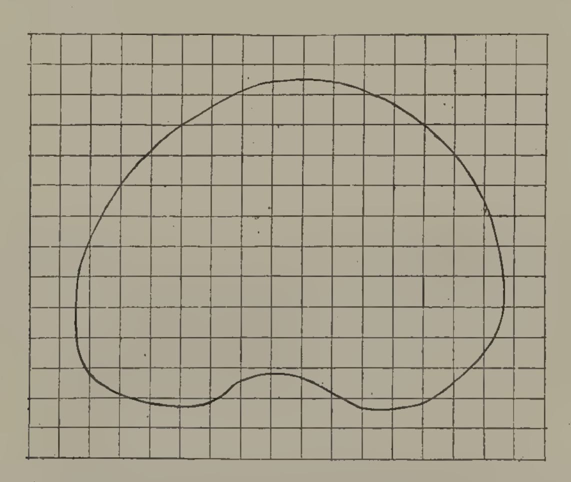


Fig. 351.— Reproduction de la plaque et du réseau qui ont servi à obtenir la radiographie précédente, la réduction est la même dans les deux figures.

modifiant la position de la femme, en la plaçant sur un lit de Trendelenburg, où l'inclinaison du bassin peut varier par rapport à la surface sensible.

Varnier, dans sa *Méthode de pelvimétrie par comparaison*, met en parallèle la radiographie obtenue sur le vivant avec des radiographies obtenues sur le bassin sec en se plaçant dans les mêmes conditions d'expérience.

D'autres, enfin, ramènent à sa forme vraie la courbe déformée du détroit en se servant de repères placés autour du bassin : c'est la méthode métrique.

Il est bien évident que toutes ces méthodes ne sont pas applicables en même temps à tous les points, à toutes les régions du bassin ; il n'est que la radiopelvimétrie à longue portée dont les résultats pourraient être favorables pour la mensuration de tous les diamètres externes ou internes du pelvis, toutes les autres méthodes ne s'adressent qu'à une seule région du bassin ; le détroit supérieur étant le plus important, c'est à son étude que se sont appliquées les tentatives que nous allons examiner.

§ 1. — Pelvimétrie par comparaison.

C'est à Varnier (1) que revient l'honneur d'avoir le premier cherché à

(1) Varnier, *Congrès de Moscou*, séance du 20 août 1897, et *Annales de gynécologie et d'obstétrique*, t. XLVIII, 1897, p. 361.

rendre utilisables à l'art obstétrical les résultats fournis par les épreuves radiographiques prises dans des conditions déterminées.

La femme est mise dans le décubitus dorsal, l'ampoule est placée à 50 centimètres de la plaque et orientée de façon que le miroir soit parallèle à celle-ci et qu'il corresponde, d'une part, au plan médian du corps et, d'autre part, aux épines iliaques antérieures et supérieures. « Dans ces conditions, la pelvimétrie par comparaison est facile ; il est en effet possible, à l'aide de bassins secs de dimensions connues placés sur les plaques dans les mêmes conditions que nos sujets vivants, d'établir des silhouettes étalons ; ces étalons, comparés aux silhouettes obtenues sur les femmes vivantes, permettent d'apprécier les dimensions du détroit supérieur.

« Peut-on faire plus que cette pelvimétrie approximative (1) par comparaison ? Peut-on prendre sur les clichés des mesures utilisables soit directement, soit par déduction ?

« De l'étude des étalons que nous possédons, nous pouvons conclure que l'on peut, sur les radiographies faites dans l'attitude et les conditions indiquées ci-dessus, mesurer directement à 2 ou 3 millimètres près :

« 1° La distance des épines iliaques postérieures et supérieures ;

« 2° La largeur du sacrum ;

« 3° La distance de la crête épineuse lombo-sacrée aux épines postérieures et supérieures ;

« 4° La distance du milieu du promontoire aux symphyses sacro-iliaques ;

« 5° La dimension transversale du détroit supérieur en retranchant 2 centimètres aux dimensions fournies par la radiographie.

« Pour le détroit inférieur, il faut changer le dispositif habituel et faire une radiographie du bassin dans l'attitude assise, qui met les ischions en contact avec la plaque sensible. »

A ce procédé, on peut faire les objections suivantes : c'est que, à 50 centimètres, les déformations portant sur les régions les plus voisines de la plaque sont déjà importantes ; même en portant cette distance à 70 centimètres, l'erreur est de 1 centimètre sur la largeur de la face antérieure du sacrum, et plus on se porte en avant, plus les différences sont grandes entre la radiographie et les dimensions réelles.

Mullerheim (2) montre qu'un diamètre transverse de 13 centimètres mesure sur l'épreuve 16 centimètres lorsque le tube est à 50 centimètres de la plaque ; il mesure 15 cm. 5 à 60 centimètres, et 15 centimètres à 70 centimètres, la distance entre le transverse et la plaque restant fixe.

Il semble donc que les mensurations directes ne soient applicables qu'aux distances qui séparent la crête sacrée des épines iliaques postérieures et

(1) Varnier, *loco citato*, p. 366.

(2) Mullerheim, Verwerthung der Röntgenstrahlen in der Geburtshülfe, *Deutsche medicinische Wochenschrift*, 1898, n° 39, p. 619.

supérieures ; pour la face antérieure du sacrum et les mensurations prises à partir du promontoire, l'erreur est déjà importante.

Pour la mensuration par déduction, la réduction de 2 centimètres sur le diamètre transverse du bassin n'est pas suffisante dans tous les cas, lorsque le tube est à 50 centimètres.

Une autre cause d'erreur vient de l'inclinaison du détroit supérieur variable chez la femme couchée, inclinaison qu'il est difficile d'évaluer et de reproduire dans la radiographie de l'étalon. Il en est de même de la distance qui sépare le diamètre transverse de la plaque, cette distance varie beaucoup suivant l'état de maigreur ou d'embonpoint des femmes, et les résultats sont en somme très approximatifs.

§ 2. — **Pelvimétrie trigonométrique.**

Lévy et Thumin (1), pour arriver à la correction de l'erreur due à la perspective, se servent d'un calcul trigonométrique.

Ils placent le tube de Crookes de telle sorte que le rayon à incidence normale passe par le sommet de la symphyse : le promonto-pubien minimum qu'il s'agit de calculer fait un angle avec la plaque, angle qu'il faut mesurer au moyen d'un appareil formé par deux colonnes, l'une portant un bouton qui se fixe sur le sommet de la symphyse, l'autre sur un point de la crête sacrée situé à 4 centimètres au-dessous de l'apophyse épineuse de la cinquième lombaire. Il est une autre distance à mesurer, c'est celle qui sépare le promontoire de la plaque : les auteurs donnent cette dimension égale à 7 centimètres, c'est-à-dire l'épaisseur de la colonne en cette région. On applique alors la formule :

$$\text{Promonto-sus-pubien} = x = a\,\frac{50 - 7}{50 \cos \varphi}.$$

a est la dimension du promonto-pubien mesurée sur la radiographie, l'angle φ est l'angle que fait le plan du détroit avec la plaque, 50 représente la distance du tube à la plaque.

La difficulté d'application du procédé vient de la mensuration de l'angle, car les causes d'erreur sont multiples et ont une grande influence sur le résultat du calcul.

Les auteurs calculent les diamètres tranverses du détroit inférieur et du détroit supérieur : pour le détroit inférieur, ils estiment que le transverse est distant de 5 centimètres de la plaque et ils retranchent un dixième de la dimension obtenue sur la radiographie.

Pour le détroit supérieur, la formule qui donne le transverse est plus complexe et demande la mensuration de deux distances : la distance de la

(1) Lévy et Thumin, *Deutsche medicinische Wochenschrift*, 1897, n° 32, p. 507.

symphyse à la plaque et celle qui sépare le promontoire de la plaque, cette dernière ne pouvant être mesurée directement.

Ce procédé d'application, possible sur le bassin sec, conduit en clinique à deux mensurations, celle d'un angle, qui est difficile à évaluer, et celle de la distance qui sépare le promontoire de la plaque, qui est impossible à obtenir.

§ 3. — **Radiographie métrique.**

A la séance du 8 juin 1899, M. le professeur Fochier a présenté en mon nom, à la Société de chirurgie de Lyon (1), un procédé grâce auquel on peut faire des mensurations sur les radiographies et qui a surtout l'immense avantage de permettre d'obtenir en vraie grandeur la courbe du détroit supérieur, car il ne suffit pas à l'accoucheur d'avoir les dimensions réelles des diamètres du bassin, mais il importe aussi de se rendre compte de la forme du détroit, car le pronostic de l'accouchement varie non seulement avec les dimensions absolues des diamètres, mais encore avec la forme de la courbe qui limite l'aire du détroit supérieur. C'est ainsi que, par exemple, étant donné deux bassins ayant 9 centimètres de diamètre promonto-sus-pubien, l'un permettra un accouchement spontané à terme d'un enfant de poids moyen si c'est un bassin aplati, et l'autre, généralement rétréci, donnera lieu, dans les mêmes conditions, à des difficultés mécaniques considérables.

Dans ce procédé, chaque radiographie porte son échelle, et les dimensions peuvent être déterminées sur l'épreuve elle-même, sans calcul, par le simple tracé de lignes unissant les extrémités de repères reproduits par les rayons X pendant le temps de pose.

Par la radiographie métrique, on ne cherche pas à atténuer la déformation due à la direction divergente des rayons, mais à se rendre compte de l'erreur produite, et cela, en superposant au plan du détroit un second plan à repères de dimensions connues, de telle sorte que les déformations éprouvées par l'un soient corrigées par les déformations identiques de l'autre.

La radiographie métrique, en temps que méthode générale, consiste à radiographier en même temps que la région à examiner des corps métalliques de dimensions connues, grâce auxquels on pourra obtenir les dimensions réelles des objets qui ont fourni les ombres fixées sur l'épreuve.

Appliquée à corriger la déformation que subit le détroit supérieur, elle consiste à radiographier en même temps que le bassin un cadre composé de quatre règles métalliques dentées en centimètres : ce cadre, étant placé autant que possible dans le même plan que le détroit, est soumis dans chacune de ses parties à des déformations de même ordre que les régions du bassin.

(1) Compte rendu de *la Province médicale* du 24 juin 1899. Fabre, De la radiographie métrique. *Lyon médical*, 23 juillet 1899.

Sur l'épreuve radiographique, on réunit une à une par des lignes les dents des règles opposées : on obtient alors un réseau analogue à celui que l'on aurait eu en plaçant dans le plan du détroit des fils métalliques distants de 1 centimètre et tendus dans deux directions perpendiculaires. Sur l'épreuve, les lignes sont irrégulièrement distantes, mais leur distance réelle est de 1 centimètre, distance égale à celle qui sépare les dents des règles. Par une simple mise au carreau sur du papier quadrillé au centimètre, on obtient une image corrigée, redressée du détroit supérieur.

Les corrections sont obtenues par le simple tracé de lignes droites et l'établissement d'une courbe dont les repères sont distants de 1 centimètre au maximum sur le tracé; on peut alors mesurer tous les diamètres et se rendre compte des modifications de la courbe du détroit.

Description du cadre. — Le cadre est composé de quatre règles en acier formant un rectangle de 32 centimètres de longueur sur 16 de largeur : trois des règles sont fixes, la quatrième est mobile sur des coulisses, ce qui permet de l'enlever complètement pour fixer le cadre autour du bassin ; en rapprochant plus ou moins la règle mobile de la règle postérieure, on arrive à la mettre en contact avec le sommet du pubis alors que la règle postérieure est en contact avec la crête sacrée. Les règles sont dentées par centimètres, les dents sont dirigées vers le centre du cadre et entourées de lames de bois mince pour protéger les téguments de la malade.

Destot a fait construire un cadre qui permet le rapprochement des règles latérales ; cela est un avantage certain et facilite la mise en place des règles latérales ; mais avec ce cadre la règle postérieure se place à plat sur le châssis et ne peut être mise en contact avec la région postérieure du tronc, même en relevant les jambes de la malade pour faire disparaître l'ensellure lombaire normale.

Marie et Cluzet (1) préfèrent se servir d'un cadre formé par quatre règles de bois, dans lesquelles sont incrustés des clous de 3 centimètres de longueur, placés parallèlement entre eux à une distance de 1 centimètre : les règles sont échancrées de manière que tous les clous soient bien dans le même plan. « Il n'est pas indispensable, disent les auteurs, d'avoir sur le cliché l'image de tous les clous, il suffit d'avoir l'image des clous d'une des règles latérales et d'une des règles frontales ; en effet, pour avoir le quadrillage déformé, il suffit de prolonger l'axe de chaque clou, on sait d'avance qu'il va passer par l'axe du clou opposé correspondant. »

L'avantage de l'emploi de ce cadre est que l'on peut tracer le quadrillage lorsqu'on n'a que l'image de deux règles ; l'inconvénient est qu'il est difficile de tracer des traits de longue dimension en n'ayant pour repère qu'une image un peu floue fournie par un clou de 3 centimètres.

Le cadre de MM. Marie et Cluzet ne présente pas une exactitude parfaite, les repères ne sont pas aussi nets que l'extrémité aiguë des dents métalliques.

(1) Marie et Cluzet, *Archives d'électricité médicale*, février 1900.

Position de la malade. — La radiographie peut être obtenue en plaçant le tube de telle sorte que l'incidence soit antérieure, postérieure ou latérale ; les modifications du bassin à mettre en évidence sont rendues, suivant les cas, plus frappantes : on peut y arriver en opérant dans le décubitus dorsal et en plaçant le tube au-dessus ou au-dessous de la table qui supporte le tronc ; cette position est difficile à appliquer, car lorsque le tube est placé au-dessous du plan de soutien de la malade, la surface sensible doit être placée sur l'abdomen, ce qui permet des mouvements faciles et nuit à la netteté de l'épreuve.

Il vaut mieux placer la malade soit dans le décubitus dorsal, soit dans le décubitus ventral, placer la surface sensible sur la table et disposer le tube de manière que tout le système à radiographier soit compris dans les limites des châssis. On arrive à cela en visant les angles du cadre avec l'œil placé en arrière du tube et en constatant que le rayon visuel passant par le foyer atteint le châssis en un point où se trouve la plaque.

Les images que l'on obtient avec l'incidence antérieure et l'incidence postérieure sont très différentes, et pour s'en rendre compte, il suffit de faire l'expérience sur un bassin sec et d'observer les résultats obtenus : dans une radiographie faite en incidence antérieure, le sacrum étant appliqué sur le châssis, ce sont les surfaces postérieures du bassin qui sont reproduites ; dans une autre radiographie faite en incidence postérieure, les pubis étant appliqués sur le châssis, ce sont les surfaces antérieures des os qui sont reproduites. Pour se convaincre de ce fait, il suffit de considérer les deux figures suivantes : dans la figure 352, le bassin est placé comme si le squelette était couché *sur le dos*, c'est la position qui a été le plus souvent employée et avec laquelle on n'a pas d'image nette du promontoire ; dans la figure 353, le bassin est placé comme si le squelette était couché *sur le ventre*, ce sont les régions antérieures du bassin qui sont reproduites et on voit le promontoire se dégager (1).

Comparons de plus près ces deux figures :

Dans la figure 352, le squelette étant couché sur son plan postérieur, on voit, sur la ligne médiane, une image de la crête sacrée (CSP), et l'orifice du canal sacré (OCS) ; sur les côtés, on a une image où l'on constate une superposition des trous sacrés antérieurs (TSA) et des trous sacrés postérieurs (TSP). On peut reconnaître les trous postérieurs, petits, bien nets, à côté de grandes ombres représentant les trous sacrés antérieurs : la comparaison avec la figure 353 rend le fait évident ; — sur cette dernière, les trous sacrés antérieurs sont seuls visibles.

Dans la figure 352, les pubis, les ischions, les fosses iliaques, les cavités cotyloïdes sont vus par derrière, et la partie des pubis que l'on aperçoit est formée par la face postérieure de cet os ; la lame de plomb qui sertit le

(1) Fabre, De la position à donner au sujet pour obtenir une bonne épreuve radiographique de la partie antérieure du sacrum. *Province médicale*, 25 août 1900.

détroit supérieur n'est pas visible directement sur toute son étendue, elle se perçoit par transparence au travers de la branche horizontale du pubis, elle

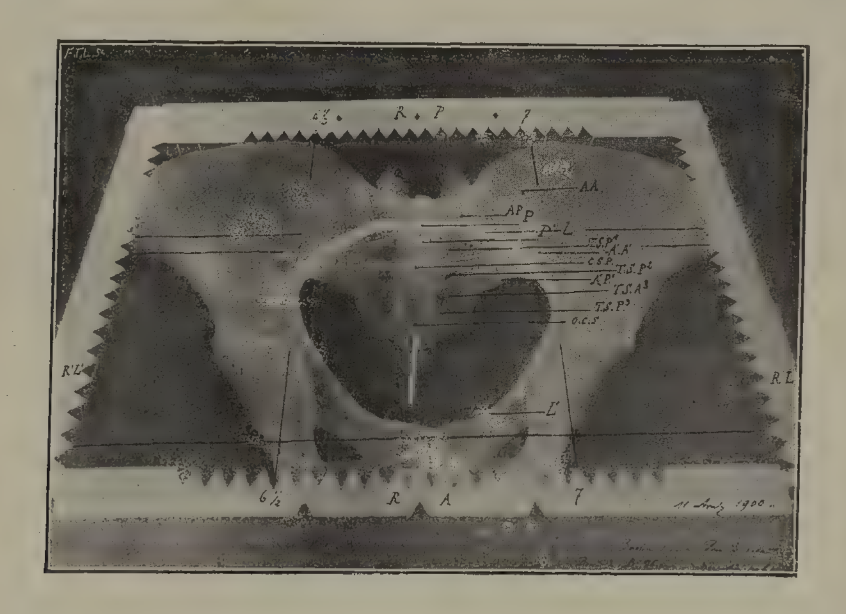


Fig. 352. — Radiographie d'un bassin sec, le squelette est couché *sur le dos.*

RA, règle antérieure, placée au niveau du pubis ; RP, règle postérieure, placée au niveau des apophyses iliaques postérieures et supérieures ; cette règle est appliquée sur le châssis ; RL et R'L', règles latérales ; L L', lame de plomb ; P, promontoire ; P', point de la ligne médiane où le plan du cadre coupe le sacrum ; AA et A'A', partie antérieure de la symphyse sacro-iliaque ; AP et A'P', partie postérieure de la symphyse ; CSP, crête sacrée postérieure ; OCS, orifice vertébral inférieur ; TSA, trous sacrés antérieurs ; TSP, trous sacrés postérieurs.

apparaît sur la ligne médiane et disparaît sur les bords : c'est la preuve que, dans la position *sur le dos*, ce n'est pas le contour du détroit supérieur qui donne une image, mais bien la lèvre inférieure de la branche horizontale du pubis ; de même en arrière, ce qui est reproduit, c'est la lèvre postérieure de la grande échancrure sciatique, qui donne cette courbe si longtemps inexpliquée ; sur les plaques obtenues dans les radiographies sur le vivant, les images du bassin reproduisent aussi la région postérieure, mais sur le cliché le fait de la vue postérieure du bassin est moins évident pour un œil non prévenu ; sur l'épreuve positive sur papier au citrate, on ne peut que soupçonner le phénomène lorsqu'on le connaît.

Dans la figure 353, au contraire, obtenue le pubis en contact avec la surface sensible, comme si le squelette était couché *sur le ventre*, l'image du sacrum est toute différente : la crête sacrée est invisible, les trous sacrés antérieurs sont, au contraire, très marqués. Les pubis, les ischions, les trous obturateurs ont la forme et les rapports que nous sommes habitués à reconnaître dans l'image du bassin, vu par sa partie antérieure. La lame de plomb est nettement visible dans toute son étendue ; donc au point de vue

de la netteté et de la rigueur anatomique, la position *sur le ventre* l'emporte.

Sur le vivant, les résultats que l'on obtient dans la position *sur le ventre*,

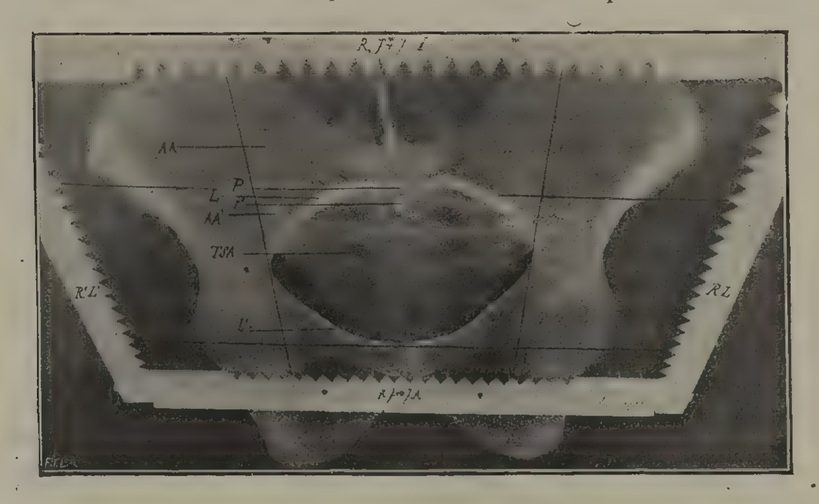


Fig. 353. — Radiographie du même bassin, le squelette est couché *sur le ventre*. La figure est inversée.

RA, règle antérieure, est placée au niveau du pubis; elle est appliquée sur le châssis; RP, règle postérieure, est placée au niveau des épines iliaques postérieures et supérieures; RL, et RL', règles latérales; LL', lame de plomb; P, promontoire; P', point de la ligne médiane où le plan du cadre coupe le sacrum; AA et A'A', partie antérieure de la symphyse sacro-iliaque; TSA, trous sacrés antérieurs.

sont encore plus satisfaisants que sur le bassin sec; en effet, tout le sacrum disparaît, se laisse traverser par les rayons, et le promontoire se dégage

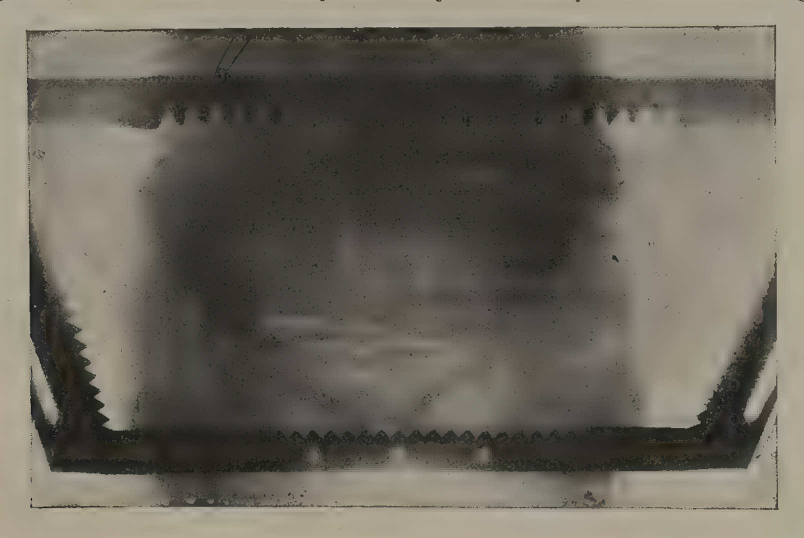


Fig. 354. — Radiographie sur le vivant en position *sur le ventre;* l'image est droite.

merveilleusement, comme on peut le constater, imparfaitement il est vrai, sur la figure 354.

De même sur les épreuves sur papier au citrate, on peut par comparaison se faire une idée nette des différences obtenues : dans la position *sur le dos*, rien de net au niveau des régions postérieures du bassin ; dans la position *sur le ventre*, le promontoire se dégage très nettement, sans que cette netteté nuise à celle des régions antérieures.

La figure 354 est la reproduction d'une radiographie obtenue *sur le ventre* ; il s'agit d'une femme qui a accouché dans mon service à la Maternité de l'hôpital de la Croix-Rousse et qui présente un rétrécissement des diamètres transversaux du bassin ; transverse maximum, 12 centimètres, — transverse médian, 11 centimètres.

Le promontoire est net ; malheureusement, la reproduction en zincogravure (figure 354) ne donne qu'une épreuve bien imparfaite.

Nous pouvons donc conclure que, par la position *sur le ventre*, le promontoire est aussi visible que les régions antérieures du détroit (1).

J'ai vérifié sur le cadavre que les conditions d'exactitude sont les mêmes dans cette position, et que l'approximation est suffisante pour que les conclusions cliniques ne soient pas erronées.

Un point particulier à signaler, c'est que dans les épreuves sur papier, il faut placer la couche sensible du papier sur la face éloignée de la malade : avec une plaque, l'épreuve sur papier au citrate devient droite.

Au voisinage du terme de la grossesse, le kyste fœtal forme une ombre qui se projette sur le sacrum et masque le promontoire, quelle que soit l'incidence des rayons ; il est donc inutile de placer les malades dans le décubitus ventral. On se sert alors de l'incidence antérieure et dans ces conditions on obtient une reproduction des régions antérieures du détroit ; mais à partir des articulations sacro-iliaques, on n'obtient plus rien de net. Le contour, fourni par la radiographie, au voisinage de ces articulations, ne fait pas partie du détroit supérieur, mais représente la lèvre postérieure de l'échancrure sciatique ; la courbe obtenue après la correction n'est utilisable que jusqu'au voisinage du transverse médian.

En dehors de la grossesse et jusqu'à 5 mois environ, il y a grand avantage à mettre les malades dans le décubitus ventral et à se servir de l'incidence postérieure, comme l'indique la figure 355.

Le tube est placé à 65 centimètres de la plaque, de telle sorte que le rayon d'incidence normale tombe du côté des pieds de la malade, à 20 centimètres de la règle pubienne C.

Dans ces conditions, le rayon FPP′ qui dessine le promontoire traverse la région postérieure du sacrum sans donner d'image de cet os, et il est inutile de placer le tube dans la position idéale F′ sur le prolongement de l'axe du bassin, car dans ce cas l'image de la règle postérieure C′ se ferait en dehors de la plaque.

(1) De l'emploi de la position *sur le ventre* en radiométrie obstétricale. *Province médicale*, 15 septembre 1900.

La différence importante entre les deux positions *sur le ventre* et *sur le dos* ne vient pas de la modification de l'angle d'incidence par rapport au

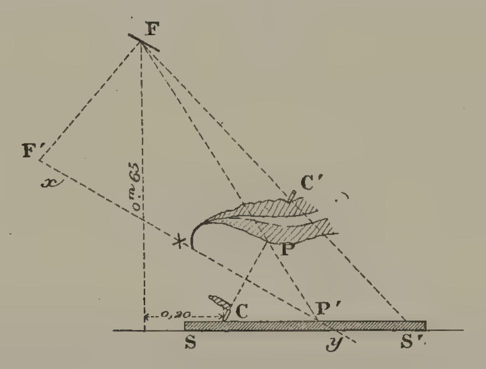


Fig. 355. — Position réciproque du tube, du bassin, de la surface sensible dans la position *sur le ventre* et en incidence postérieure.

F, foyer du tube ; CC', cadre ; C, symphyse pubienne ; C', partie postérieure du sacrum ; SS', surface sensible ; FPP', rayon qui passe par le promontoire ; *xy*, axe du bassin ; en F' position du tube suivant cet axe.

promontoire, mais bien de ce fait que *sur le dos* le sacrum est reproduit avec ses détails, qui masquent le promontoire, tandis que, sur le ventre, le sacrum, très éloigné de la plaque, disparaît et seul le promontoire apparaît.

De la mise en place du cadre. — Il est difficile d'obtenir une coïncidence certaine et mathématique entre le plan du détroit supérieur et celui du cadre; cette objection est applicable à toutes les méthodes qui placent des instruments dans le plan du détroit supérieur.

Il est certain que l'on ne peut donner une loi générale facilement applicable par tout le monde qui permette d'affirmer que le cadre est bien dans le plan du détroit. Nous n'irons pas aussi loin que M. Varnier en disant que c'est inutile et que plus on en est éloigné, mieux cela vaut; nous allons cependant montrer que, même avec des différences importantes, on obtient des résultats assez exacts, mais que, pour se rapprocher le plus possible de la vérité, il faut être dans le plan du détroit.

J'ai fait trois radiographies successives d'un même bassin; dans le premier cas, j'ai placé le cadre aussi exactement que possible dans le plan du détroit supérieur; dans la seconde, j'ai fixé le cadre à 2 centimètres au-dessus du plan, dans la troisième, à 2 centimètres au-dessous.

Le tableau suivant donne les résultats et les erreurs dans chaque cas :

	Dimensions. réelles.	Le cadre est dans le plan du détroit.	Erreur.	Il est 2 centim. au-dessus du plan.	Erreur.	Il est 2 centim au-dessous.	Erreur.
Promonto-pubien. . . .	10,2	10,5	+ 0,3	11	+ 0,8	11	+ 0,8
Transverse maximum. .	14	14	Exact.	13,6	— 0,4	13	— 1cm
Transverse médian. . .	12,7	12,9	+ 0,2	13,4	+ 0,7	12	— 0,7
Oblique gauche. . . .	12,7	12,5	— 0,2	12	— 0,7	12,5	— 0,2
Oblique droit.	12,5	12,4	— 0,1	11,6	— 0,9	12,6	+ 0,1

Le maximum d'exactitude est fourni par la radiographie faite le cadre étant dans le plan; mais, au-dessus et au-dessous de cette position idéale, il existe un très grand nombre de positions du cadre où les erreurs existent, cela est certain, mais où elles sont compatibles avec la vérification des données cliniques. On peut donc s'écarter un peu du plan du détroit, il vaut cependant mieux être dans le plan.

De plus, tout le détroit supérieur ne se trouve pas dans le même plan; il existe dans cette courbe deux régions : l'une antérieure, qu'on désigne sous le nom de *détroit transverso-pubien*, c'est le détroit anatomique, qui comprend la face supérieure du pubis, le transverse médian, le transverse maximum et la courbe de la ligne innominée jusqu'à l'articulation sacro-iliaque; l'autre postérieure, comprenant les ailerons du sacrum et le promonto-pubien, c'est le *détroit promonto-pubien* ou détroit obstétrical.

Quels sont les rapports de ces deux plans avec les saillies osseuses, telles que les épines iliaques postérieures et supérieures ?

Une élève de la clinique obstétricale de Lyon, Mlle Romain (1), a étudié à ce point de vue 110 bassins de la collection pathologique : nous avons éliminé les grandes viciations pelviennes et nous n'avons conservé que les bassins correspondant aux formes les plus fréquemment observées.

Le plan transverso-pubien aboutit en arrière au-dessus des épines iliaques postérieures et supérieures; cette distance varie entre 5 et 11 millimètres : sur le vivant, ce point correspond aux fossettes latérales du losange de Michaëlis.

Le plan promonto-pubien aboutit en arrière à 4 centimètres environ au-dessus des épines iliaques postérieures et supérieures dans le bassin normal; dans les bassins peu altérés dans leur forme, il en est de même. Dans les bassins aplatis, on peut trouver le promontoire presque au niveau du plan transverso-pubien, mais cela est exceptionnel. Dans un grand nombre de bassins de cette forme, on trouve que le promontoire est plus bas que dans le bassin normal : il est à moins de 20 millimètres du plan transverso-pubien. Dans ces cas, la ligne d'affleurement postérieur du plan promonto-pubien est entre 3 et 4 centimètres au-dessus des épines iliaques : ce sont les cas qui correspondent à la donnée clinique que l'on exprime en disant que le promontoire est bas.

Au contraire, quand le promontoire est à plus de 20 millimètres du plan du transverso-pubien, la ligne d'affleurement postérieur est située entre 4 et 6 centimètres au-dessus des épines iliaques postérieures et supérieures; dans ces cas, au contraire, on dit que le promontoire est haut.

Cette différence entre les plans contenant les transverses et le promonto-pubien explique le fait que M. Fochier avait signalé, à savoir que les transverses sont mesurés plus exactement que le diamètre antéro-postérieur; en

(1) Romain, *Rapports du plan du détroit supérieur avec les saillies osseuses de la région sacro-lombaire.* Thèse de Lyon, 1900.

effet, ce dernier n'est pas contenu dans le plan des règles mensuratrices, bien placées au contraire pour mesurer les diamètres transverses.

C'est pour remédier à cet inconvénient que j'ai proposé l'emploi d'un cadre double (1) : il est composé d'un cadre formé de quatre règles métalliques dentées, dont une seule est mobile pour permettre de faire entrer la malade dans le cadre. Sur la règle pubienne sont fixées deux nouvelles règles latérales, mobiles sur des charnières; ces deux règles sont maintenues dans un même plan, par une règle en bois qui ne donne pas d'image radiographique.

Le cadre fixe se place dans le plan du détroit transverso-pubien, repéré

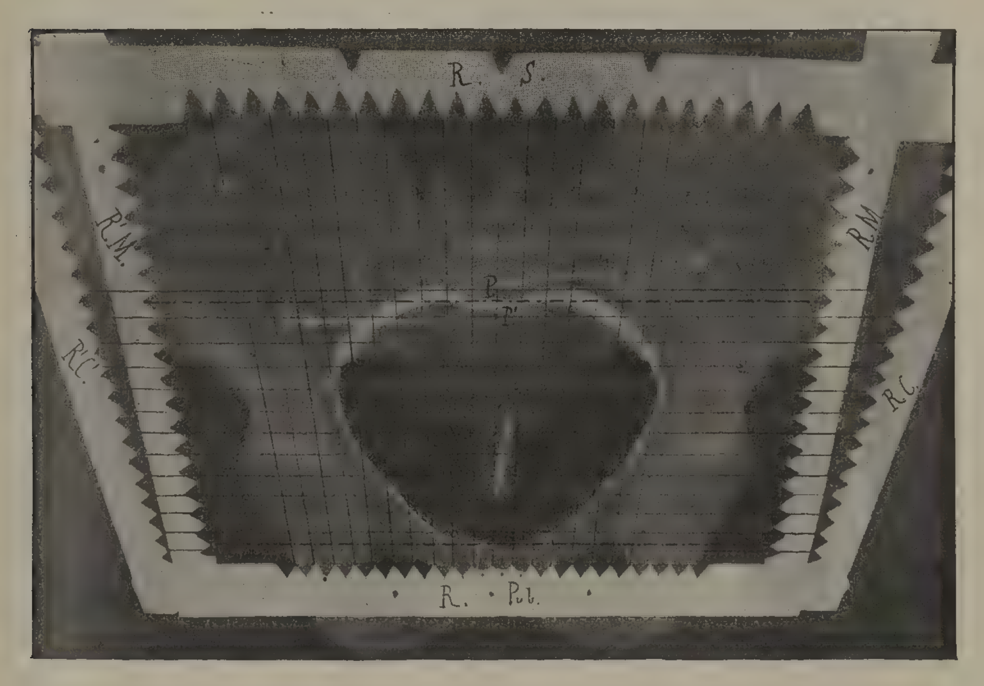


Fig. 356. — Radiographie d'un bassin sec ; le tube est à 55 centimètres de la plaque ; pose 3 minutes ; le cadre est double. Réduction au quart.

R. Pub., règle pubienne ; RS, règle sacrée ; RC, et R'C', règles latérales formant cadre avec les précédentes et placées dans le plan transverso-pubien ; RM et R'M', règles mobiles, placées dans le plan promonto-pubien.

en avant par le bord supérieur des pubis et en arrière par les épines iliaques postérieures.

Le cadre mobile est placé de telle sorte que la règle de bois soit à 3, 4 ou 6 centimètres au-dessus des épines iliaques, et cela suivant les données cliniques fournies par l'examen interne du bassin ; si le promontoire n'est pas accessible, on peut, dans les cas de bassins normaux, mettre la règle de bois à 4 centimètres au-dessus des épines.

(1) A propos de radiographie métrique. Réponse à M. Varnier. *Province médicale*, 29 septembre 1900. Ce cadre a été construit par Durillon, à Lyon.

La figure 356 est la reproduction d'une radiographie d'un bassin sec obtenue avec le cadre double ; les règles RP, RS, RC et R'C' sont dans le même plan, c'est celui du détroit transverso-pubien ; on obtient la courbe du détroit par le quadrillé obtenu avec ces règles.

Les règles RM et R'M' sont dans le plan du promonto-pubien et en comptant les dents qui séparent sur ces règles les deux lignes ponctuées qui passent l'une par le promontoire, l'autre par le pubis, on trouve que ces deux points sont distants de moins de 10 centimètres et demi ; or, réellement le promonto-pubien a 10 cm. 2, alors que, mesuré par les dents du cadre fixe, le promonto-pubien a 11 cm. 5.

On comprend que l'approximation plus grande vient de ce que les règles du cadre mobile sont placées dans le plan du promonto-pubien, tandis que le cadre fixe est dans le plan du transverso-pubien.

En résumé, le cadre double permet de faire des mensurations exactes dans les plans différents du détroit supérieur, mais au voisinage de la fin de la grossesse, le cadre simple suffit, car on ne voit pas le promontoire, même en plaçant la malade sur le ventre ; dans ces conditions, le cadre simple, la malade étant dans le décubitus dorsal, donne les seuls résultats que l'on puisse obtenir.

Mise en place du tube, de la plaque et du cadre simple. — 1° La malade est en décubitus dorsal. — Avant de faire étendre la malade on détermine aussi exactement que possible les points qui correspondent aux épines iliaques postérieures et supérieures ; les fossettes qui forment les angles latéraux du losange de Michaëlis sont situées à ce niveau; on vérifie ce rapport par la palpation. A la hauteur des fossettes, on trace à la règle, avec un crayon dermographique, une ligne horizontale, qui atteint par ses deux extrémités les parties latérales du tronc, de manière que la règle postérieure puisse être mise en coïncidence avec cette ligne dans le décubitus dorsal ; on y parvient en mettant la règle en contact avec les extrémités de cette ligne. Le cadre est placé autour du bassin, de manière que la règle postérieure soit dans la position que nous venons de fixer ; la règle antérieure est placée au niveau du bord supérieur du pubis : les règles latérales sont forcément dans le plan du détroit transverso-pubien.

Le châssis est disposé de telle sorte que la règle postérieure soit près du bord supérieur du châssis.

Le tube est placé à 65 centimètres sur la verticale passant par la ligne médiane, de telle sorte que le rayon d'incidence normale tombe sur la plaque à 20 centimètres de la règle postérieure du côté de la tête de la malade.

On voit alors si le rayon visuel passant par le miroir et l'angle antérieur des règles tombe sur la plaque et si tout est bien symétrique.

Une fois le cliché développé et séché, on trace avec un crayon le quadrillage sur le côté gélatiné de la plaque, après avoir repéré par transparence et par un trait au crayon la position de chacune des dents du cadre.

On reproduit par une mise au carreau sur papier quadrillé au centimètre la courbe de la portion visible du détroit en évitant de reproduire les régions

les plus postérieures de la courbe qui correspondent à l'échancrure sciatique et non au détroit supérieur.

2° La malade est en décubitus ventral. — Il faut tout d'abord dans le décubitus dorsal déterminer exactement le bord supérieur du pubis et tracer une ligne horizontale passant par ce point ; la ligne atteint la face latérale des cuisses et permet de mettre la règle pubienne en coïncidence avec le bord du pubis.

Ceci fait, on fait coucher la malade sur le ventre, les coudes appuyés sur un oreiller ; on glisse le châssis de manière qu'un des bords dépasse légèrement les pubis.

Le cadre est démonté, la règle glissée sous le ventre, la règle à coulisse est engagée dans les règles latérales et forme le cadre fixe, la règle postérieure est mise en contact avec les fossettes du losange de Michaëlis.

Les règles latérales mobiles sont réunies par la règle de bois et placées de telle sorte que la règle sacrée soit à 3 ou 5 centimètres de la règle fixe, suivant que l'exploration du bassin a montré que le promontoire est bas ou au contraire élevé.

Le tube est placé à 65 centimètres de la plaque sur la verticale passant par la ligne médiane, de manière que le rayon d'incidence normale tombe à 20 centimètres de la règle pubienne, du côté des pieds de la malade.

Le cliché développé et séché, on repère par un trait au crayon les extrémités des dents du cadre fixe et celles des règles latérales mobiles en regardant le cliché par transparence : on trace le quadrillage en réunissant une à une les dents opposées du cadre fixe, c'est ce quadrillage qui sert à la reproduction de la courbe.

Pour la mensuration du sacro-pubien, on se sert des règles latérales. On ne trace pas toutes les lignes, mais en pointillé on indique sur les parties latérales du cliché les lignes d'union des dents, et on compte combien il en est entre le bord supérieur du pubis et le promontoire.

Dans ces conditions, on mesure exactement le sacro-pubien au moyen des règles latérales et on peut reproduire la courbe de tout le détroit supérieur au moyen du cadre fixe.

§ 4. — Pelvimétrie géométrique.

Un certain nombre d'auteurs se sont servis, pour arriver à la mensuration des diamètres du bassin, de constructions linéaires, tels sont les procédés de Bouchacourt (1), de Morin (2) et de Carlos Santos (3).

(1) Bouchacourt, Procédés rationnels de radio-pelvimétrie du détroit supérieur. *Compte rendu du XIIIe Congrès international*, 1900, p. 426. Communication à la Société d'obstétrique de Paris, du 15 novembre 1900.

(2) Morin, Simplification de l'outillage par la mensuration du bassin. *Gazette médicale de Nantes*, 20 octobre 1900 et 19 janvier 1901.

(3) Carlos Santos, *Compte rendu du Congrès d'électrologie, radiographie*, numéro de décembre 1900.

Procédé de Bouchacourt. — Ce procédé est basé sur les propriétés des figures homologiques étudiées par Chasles : l'auteur place autour du bassin une ceinture munie, de distance en distance, de repères. Il fixe le plan du détroit supérieur en déterminant en avant un point situé à l'union du tiers supérieur et des deux tiers inférieurs du pubis et en traçant, au crayon dermographique, une courbe parallèle au bord supérieur de la branche horizontale du pubis.

Pour déterminer le centre de projection, l'auteur attache un fil à plomb à la partie inférieure du tube de Crookes, et donne à celui-ci une position telle que son foyer soit sur le prolongement du fil à plomb.

La radiographie étant faite, développée, fixée, formolée et séchée, on la replace sur la planche, qui supporte la ceinture exactement dans la position qu'elle occupait ; on donne à la ceinture la forme qu'elle avait au moment de la radiographie, et on la rabat sur le cliché.

La restitution des différents points de la courbe exige la construction de l'épure relative aux figures homologiques, mais, comme le dit M. Bouchacourt, ces constructions de géométrie dans l'espace étant toujours assez compliquées, il est préférable de simplifier, et c'est là le point faible du procédé.

Le principe sur lequel Bouchacourt appuie sa méthode est très juste : les lignes droites qui joignent des points homologues du détroit et de la ceinture se coupent au même point de la ligne d'intersection des deux plans de la plaque et du détroit supérieur ; mais la construction dans l'espace, que Bouchacourt traite de compliquée, et qui permet la reconstitution de la courbe, ne peut être simplifiée et en même temps rester exacte.

La principale objection que l'on peut faire est la suivante : lorsque Bouchacourt rabat la ceinture sur la radiographie, il pose une proportion dont il ne démontre pas la réalité et qui ne découle pas du tout de l'exposé qu'il vient de faire des figures homologiques. Il faudrait alors que le plan du détroit supérieur soit parallèle à la plaque, ce qui est contraire à la réalité. La proportion n'est pas démontrée, mais encore elle est fausse et, avec elle, la construction proposée, qui lui est équivalente.

Procédés de Morin (1). — Ces procédés ne comportent aucune modification essentielle de la méthode de la radiographie métrique, ils restent la méthode des quatre règles, mais les règles elles-mêmes sont supprimées, elles deviennent fictives.

La règle postérieure se trouvant au contact de la plaque et étant reproduite en vraie grandeur, il suffit de tracer à son niveau une ligne qu'on divise en centimètres. Pour la règle antérieure, qui est parallèle à la surface sensible, il suffit de connaître la longueur occupée par un nombre connu de ces divisions.

(1) Morin, Rapport sur la mensuration radiographique du bassin. *Congrès de Nantes*, octobre 1901.

Au moyen d'un élastique passé autour de la malade, on fixe le repère postérieur ; lorsque la femme est étendue sur la table radiographique, on place le repère antérieur, qui est constitué par un fil métallique mesurant exactement 10 centimètres : il est tout simplement glissé en travers dans les poils pubiens.

Sur la radiographie obtenue, on trace une ligne transversale passant par le repère postérieur et on le divise en centimètres ; on trace une seconde ligne parallèle passant par l'image du fil métallique, dont la longueur divisée par 10 donne la dimension apparente de 1 centimètre ; en rejoignant les divisions de la ligne postérieure à celles de la ligne antérieure, on obtient les dimensions transversales du bassin.

Pour les dimensions antéro-postérieures, le procédé exige une construction géométrique un peu plus complexe et ne doit pas donner des résultats aussi précis. En effet, pour tracer les divisions qui correspondent aux dents des règles latérales, on se sert d'un fil qui est fixé sur une planche à une distance de 50 centimètres d'une ligne, représentant la ligne médiane, et on trace des lignes qui, parties des foyers, simulent les rayons qui ont fourni l'image du sacro-pubien divisé.

Morin signale lui-même les points faibles de ce procédé en disant que l'élastique est difficile à placer et qu'il ne présente pas une fixité suffisante ; il en est de même du fil de cuivre ; de plus, il est impossible de se servir du décubitus ventral.

Dans un second procédé, Morin fixe le repère postérieur avec du sparadrap, le fil antérieur est placé comme auparavant, et on mesure exactement la distance qui sépare le repère postérieur du repère antérieur (D).

On fait alors la construction géométrique en se servant d'une ligne égale en dimensions à la longueur qui sépare les deux repères sur l'épreuve ; à partir du repère postérieur, on trace un arc de cercle avec un rayon égal à D. Le foyer du tube est représenté par l'intersection de la ligne partie de la trace du pubis et du repère antérieur avec une ligne tracée à 50 centimètres parallèlement à la ligne qui sert de base à la construction.

Morin (1), pour déterminer exactement la situation du repère postérieur, qui doit être placé au niveau de la ligne d'affleurement postérieur du plan du détroit supérieur, a décrit un appareil très ingénieux composé d'une tige sur laquelle glissent trois pièces ; l'une se fixe sur le sommet du pubis, l'autre, munie d'un doigtier, est placée par l'observateur en contact avec le promontoire ; l'extrémité de la troisième pièce vient se placer d'elle-même en ligne droite sur le point qui correspond à une ligne passant sur le sommet du pubis et le promontoire : la situation du repère postérieur est donc très exactement fixée.

Cet appareil doit être d'application difficile, car la pièce qui doit être

(1) MORIN, Détermination du plan du détroit supérieur. *Archives d'électricité médicale*, mars 1901.

placée sur le promontoire est très volumineuse et présente une courbure qui demande une dépression considérable de la fourchette ; de là des douleurs qui rendent la détermination pénible. Nous n'avons pu expérimenter cet appareil, dont la construction n'a pas été réalisée.

Procédé de Carlos Santos. — Ce procédé est basé sur la mensuration de l'inclinaison du promonto pubien. Les données nécessaires à connaître sont, en outre, l'inclinaison du plan du détroit, la hauteur du pubis au-dessus de la plaque, et la hauteur du tube, qui est placé à 50 centimètres sur la ligne verticale passant par le milieu du pubis. On obtiendrait ainsi, d'après l'auteur, une meilleure image du sacrum, mais nous savons qu'il est impossible, dans cette position, d'obtenir une image du promontoire.

Les dimensions du bassin sont trouvées au moyen d'un appareil spécial décrit par l'auteur. Cet appareil se compose de deux plans de bois perpendiculaires entre eux. Le plan vertical est fendu au milieu et sur toute sa hauteur ; dans la fente glissent deux curseurs métalliques qu'on peut fixer à des hauteurs variables : le supérieur étant fixé à 50 centimètres, distance du tube, l'inférieur à la hauteur connue du pubis, les dimensions sont prises le long des règles ou des fils partant de ce dernier et allant retrouver la base de l'appareil à une distance dépendant de l'inclinaison mesurée à l'avance : les dimensions sont déterminées par l'intersection de ces règles avec d'autres fils tendus à partir du curseur supérieur, et allant retrouver en bas les contours fournis par la radiographie (1).

Tous ces auteurs ont créé des procédés très ingénieux pour remplacer les règles du cadre denté ; ils se servent pour cela de constructions de dessin linéaire, qui, pour être exactes, demandent à être faites avec une grande précision, et il est difficile, avec des règles ou des fils, de tracer des lignes de plus de 50 centimètres de longueur et de faire ainsi des mensurations suffisamment exactes. Il est beaucoup plus facile de se servir des règles latérales qui donnent, par la seule radiographie, les mesures exactes de la déformation subie par les dents et cela sans construction aucune : la mise au carreau est beaucoup plus exacte.

Les procédés de Morin, de Carlos Santos ont été proposés pour simplifier le manuel opératoire, il n'en est rien : le cadre est supprimé, cela est vrai, mais la correction est beaucoup plus difficile à faire.

§ 5. — **Pelvimétrie stéréoscopique.**

Contremoulins (2) a proposé un procédé dérivé de sa méthode de recherche des corps étrangers dans la tête ; on peut arriver à pratiquer la mensura-

(1) Morin, *Rapport du Congrès de Nantes*, p. 19.

(2) *Bulletin de l'Académie de médecine*, 23 avril 1901, p. 508. Communication de M. Le Dentu, *Société de chirurgie*, 7 octobre 1901, et Métroradiographie, *Archives d'électricité médicale*, 15 novembre 1901.

tion du bassin avec une exactitude à peu près absolue, puisque, d'après M. Contremoulins, le résultat de l'opération ne comporte pas un écart de la réalité de plus d'un demi-millimètre.

L'idée fondamentale de cette méthode consiste à prendre deux épreuves radiographiques sous des angles d'incidence différents et quelconques des rayons X, et à fusionner les deux images.

On place le sujet sur le dos ; au-dessus du bassin et à une certaine hauteur se trouve le tube de Crookes ; celui-ci peut glisser sur une pièce métallique horizontale et transversale par rapport au sujet : cela permet de prendre une première épreuve, le tube correspondant au côté droit du sujet, et une deuxième épreuve le tube correspondant au côté gauche du sujet.

Il s'agit de déterminer la position exacte qu'ont occupée dans l'espace les deux foyers de rayons X. On y réussit au moyen de deux tiges métalliques obliques, dont chacune est substituée au tube de Crookes : par une série de mensurations très simples, et au moyen du fil à plomb qui a déjà servi à repérer les deux foyers de rayons X sur la plaque de la table, on fixe l'extrémité des tiges métalliques exactement à la place qu'occupaient les deux foyers pendant qu'on prenait les épreuves.

Les deux points à déterminer dans l'espace sont donc matérialisés par les pointes terminales des deux tiges, qui portent chacune un crochet.

On développe les deux clichés et, sur les épreuves obtenues, on fait le décalque de la partie dont on veut connaître les dimensions : on fixe un certain nombre de longs fils au pourtour de chaque décalque et on place les décalques sur la table, exactement à la place qu'occupaient les plaques photographiques.

On ramène en un faisceau conique chacune des séries de fils fixés au contour de chaque décalque, et l'on raccroche tous les fils de chacun des deux faisceaux aux crochets terminaux des deux tiges métalliques correspondant aux deux foyers des rayons X ; les intersections des fils aux points où ils se croisent et se touchent, indiquent autant de points du contour de la partie à mesurer.

Au moyen d'un compas à épaisseur, on mesure les distances qui séparent tous les points suivant les diamètres multiples du bassin : on peut reporter ensuite toutes ces mesures sur le papier.

Ce procédé très ingénieux a comme inconvénient la nécessité d'employer deux plaques de dimensions considérables, et de plus la reproduction de la courbe du détroit supérieur oblige à employer un grand nombre de fils ; la correction de la courbe obtenue est donc longue à réaliser.

§ 6. — **Radiopelvigraphie.**

Pour obvier à la déformation du détroit supérieur, causée par la direction divergente des rayons et par l'obliquité du plan du détroit supérieur,

Varnier (1) a proposé d'éloigner beaucoup le tube et il a conseillé de le placer à 2 m. 50 de la plaque sur laquelle se trouve le malade. La première indication de ce procédé a été publiée dans les *Annales de gynécologie* de juillet-août 1900, qui a paru le 15 septembre 1900. A la fin de ce numéro, ont paru en petites lettres des notes de laboratoire, dans lesquelles Varnier, montre qu'en éloignant progressivement, toujours dans l'axe du détroit supérieur, la source du cône des rayons X, il arrive un moment où la déformation est nulle ; il rapporte l'expérience de son préparateur, M. Aubert, qui, l'ampoule étant à 2 m. 50, place une plaque d'accumulateur à 20 centimètres de l'écran et obtient ainsi une projection en vraie grandeur. La déformation par les rayons est nulle, mais il reste celle fournie par l'obliquité du détroit par rapport à la surface sensible, qui même à cette distance a une influence importante, comme je l'ai montré (2).

En effet, en plaçant l'ampoule à 2 m. 50, certains diamètres sont exactement mesurés sur l'épreuve, tel est le transverse maximum, qui est parallèle à la plaque, mais les autres diamètres sont modifiés d'une façon plus ou moins considérable, qui varie avec la distance de ces diamètres à la plaque et aussi avec leur obliquité.

De plus, il est impossible de placer le tube sur l'axe du détroit supérieur prolongé, car alors les ombres portées sur les régions les plus éloignées de la plaque, ne peuvent être projetées sur la surface sensible ; il faut se contenter d'une position telle que celle qui est représentée sur la figure 356.

Aussi Varnier a-t-il été amené dans une nouvelle communication à augmenter encore la distance du tube à la plaque : de 2 m. 50, il passe à 5 mètres.

Varnier (3) montre qu'avec des ampoules ordinaires bi-anodiques, une bobine de 25 centimètres d'étincelle, un trembleur Ducretet, un courant de 10 ampères et 26 volts, il a pu obtenir la silhouette d'un bassin sec placé à la distance de 25 mètres de l'ampoule avec vingt minutes de pose ; le bassin se voit encore sur une plaque distante de 30 mètres : une glissière est silhouettée à 35-40 mètres, une spirale de plomb à 45 mètres. Le cadavre peut être radiographié à 5 mètres. La main vivante l'est aisément à cette même distance en neuf minutes.

Il y a donc lieu d'espérer qu'on pourra, avant qu'il soit longtemps, en opérant à 5 mètres, atténuer encore pour le bassin de la femme vivante la légère déformation inhérente à la radiopelvimétrie à 2 m. 50.

Il est évident qu'avec l'emploi de cette méthode, si le tube était à l'infini ou à une distance très grande, on pourrait obtenir une courbe non déformée

(1) Varnier, Radiopelvimétrie à longue portée. *Annales de gynécologie et d'obstétrique*, 1900, p. 165-168.

(2) Fabre, A propos de radiographie métrique, réponse à M. Varnier. *Province médicale,* 20 septembre 1900, p. 459.

(3) *Bulletin de l'Académie des sciences*, 21 janvier 1901. Communication de M. Félix Guyon.

du détroit ; mais alors comme l'intensité des radiations et l'action sur la surface sensible est en rapport inverse avec le carré des distances, la durée du temps de pose serait augmentée d'une façon considérable.

Or, en radiographie obstétricale, la difficulté de faire poser les malades de huit à dix minutes est déjà considérable en se plaçant à 60 ou 70 centimètres ; que sera-ce lorsque l'ampoule sera à 5 mètres ? Cette objection est bonne aujourd'hui, mais il est possible qu'elle n'existe plus lorsque les constructeurs nous donneront des instruments ayant une pénétration plus grande et suffisante pour traverser le bassin à une distance énorme et encore, à ce moment, il sera utile de placer autour du bassin un cadre composé de règles métalliques dentées en centimètres, de manière à pouvoir, par une mise au carreau, reproduire exactement la courbe du détroit supérieur, car les mensurations ne suffisent pas, il faut encore avoir une reproduction graphique du détroit supérieur, pour pouvoir le comparer à la forme de la tête fœtale.

§ 7. — **Conclusions.**

Si maintenant nous jetons un coup d'œil d'ensemble sur les différents procédés de mensuration du bassin que nous venons d'exposer par ordre d'apparition, nous pouvons dire qu'ils se divisent en deux grands groupes, l'un comprend la radiopelvimétrie à longue portée, qui cherche à faire disparaître complètement les déformations que subit tout le bassin, c'est la méthode de l'avenir, mais actuellement d'application impossible en pratique. L'autre groupe comprend les méthodes qui acceptent les déformations, mais font une correction ; parmi ces méthodes, la radiographie métrique est celle qui donne les meilleurs résultats avec le moins de complications pour obtenir la correction.

Docteur Fabre,

Professeur agrégé d'accouchement à la Faculté de médecine de Lyon, Accoucheur des hôpitaux.

XII. — ACCIDENTS DUS AUX RAYONS X. — RADIOTHÉRAPIE

CHAPITRE PREMIER

DES ACCIDENTS DUS AUX RAYONS X

On décrit habituellement deux formes de radiodermite, l'une aiguë, l'autre chronique. Ces termes sont absolument faux s'ils entendent signifier, comme c'est l'habitude en clinique, la marche de l'affection et sa durée. Une radiodermite aiguë, profonde, peut avoir une évolution beaucoup plus longue que telle autre lésion superficielle dite chronique.

C'est aux causes des radiodermites que doivent s'appliquer ces dénominations, et non à leur évolution ; et pourtant elles répondent bien à des types cliniques différents et très suffisamment tranchés. L'une est due à de fréquentes expositions à des rayons de faible intensité, l'autre à une ou à quelques expositions à des rayons très puissants. La première ne se rencontrait guère autrefois que chez les opérateurs, médecins, constructeurs, physiciens, dont les mains restaient pendant des heures par jour exposées à des rayons de faible puissance pénétrante ou de médiocre intensité. Aujourd'hui, on la voit suivre des séances trop prolongées ou trop fréquentes de radiothérapie. Sa marche est insidieuse. Elle apparaît lentement, ne s'accompagne pas de douleurs. La seconde éclate brusquement et suit, à plus ou moins courte échéance, une exposition trop prolongée à une ampoule riche en rayons X très actifs ; elle s'accompagne de douleurs violentes.

En raison des différences cliniques notables que présentent ces deux formes, nous devons les décrire séparément et, à défaut d'autre terme plus convenable, nous conserverons le vocable usuel.

D'autre part, on sait, jusqu'aujourd'hui, deux causes capables de produire les mêmes accidents, ce sont les deux sources actuellement connues de rayons X ; l'ampoule de Crookes et les substances radioactives, auxquelles nous consacrerons ultérieurement un chapitre spécial. Mais les lésions qu'elles produisent étant identiques à celles de l'ampoule de Röntgen, nous ne les décrirons pas à part.

A côté des accidents locaux se produisant aux points directement frappés par les rayons X et y présentant leur maximum d'intensité, on a aussi observé des accidents généraux portant surtout sur le système nerveux.

Nous commencerons par leur étude, ou plutôt par leur énumération, car ils ne présentent aucun caractère clinique particulier demandant une étude spéciale.

§ 1. — Accidents généraux.

On a, après une ou plusieurs séances de rayons X, signalé les accidents les plus divers : insomnie, céphalalgies, sensations de chaleur, de brûlure locale, etc., tous phénomènes que nous ne faisons que signaler en passant sans nous y arrêter, parce qu'ils sont très rares, que chacune de ces observations isolées peut très bien se rapporter à des cas d'émotivité générale ou d'autosuggestion bien compréhensibles chez les sujets qui ont attendu leur examen avec impatience ou anxiété, et qui sont vivement impressionnés par l'outillage, l'obscurité, les étincelles et la nouveauté de la méthode. Il est pourtant de ces phénomènes sur lesquels nous croyons devoir appeler l'attention, en raison de leur fréquence relative.

Vomissements. — On serait aussi bien tenté de les attribuer à un réflexe émotif, mais nous ne croyons pas à cette cause, parce que dans toutes les observations où nous les avons relevés, ils se produisent après une radiographie de la région abdominale, et puis parce qu'ils ne suivent pas, ou n'accompagnent pas immédiatement l'exposition aux rayons. C'est dans les heures qui la suivent, alors que le malade est complètement rassuré, qu'ils surviennent et persistent pendant douze ou vingt-quatre heures. Ils ne s'accompagnent d'aucune sensation pénible. La langue est épaisse et saburrale ; l'inappétence absolue peut encore persister un jour après la cessation des vomissements. Nous les avons observés, Barthélemy et moi, 5 fois se produisant toujours dans les mêmes conditions d'exposition de la région abdominale et se présentant sous la même forme. Chez deux autres sujets, nous avons constaté l'inappétence absolue sans vomissements, et, sans la moindre douleur gastrique, un dégoût profond pour tout aliment.

Palpitations. Cardialgie. — Ici encore il ne peut s'agir d'autosuggestion, puisque ce symptôme apparaît à la longue chez les opérateurs vivant continuellement à côté d'ampoules en fonctionnement. Ce phénomène, signalé d'abord par Seguy et Quenisset, a depuis été constaté par d'autres observateurs. Oppression du côté du cœur, battements violents et irréguliers devenant rapidement insupportables quand les rayons X traversent la poitrine : c'est de cette façon que sont décrits ces troubles cardiaques, qui d'ailleurs cessent dès qu'on suspend l'emploi des rayons X. Nous n'avons vu signalé nulle part que ce symptôme ait jamais eu d'autres ni plus graves conséquences que de faire suspendre momentanément l'usage de la radio-

graphie. Il est probable, mais nous n'en avons aucune confirmation, que pour que ces accidents, vomissements ou palpitations se produisent, il faut que les rayons rencontrent un pneumogastrique ou un sympathique particulièrement sensibles et iritables.

Tremblements. — On les rencontre presque toujours avec les radiodermites chroniques des opérateurs ; ce ne sont pas, à proprement parler, des accidents généraux, mais comme ils peuvent aussi se rencontrer sans lésions cutanées et que leur production exige l'intervention du système nerveux « moteur », nous les signalerons ici, pour ne pas trop compliquer le cadre de ce travail par des subdivisions inutiles. Ces tremblements des doigts ressemblent beaucoup à ceux de l'alcoolisme. Ils restent toujours faibles, tout en étant assez gênants ; ils existent au repos, mais s'exagèrent par le mouvement et l'attention. Ils cessent lentement par la suppression de la cause nocive.

Troubles de sensibilité. — Il en est de deux ordres : les uns, presque constants dans les radiodermites chroniques, consistent en perversions légères ; certains observateurs accusent une légère hyperesthésie, d'autres de l'anesthésie. J'ai eu pour ma part, pendant quelque temps, sur les faces latérales de quelques doigts, la même sensation au toucher que si j'avais eu des gants. Les sensations de peau dure, tendue, n'ont rien de particulier puisqu'elles répondent précisément à ce qui existe. Un constructeur (Radiguet), dont les mains ont été particulièrement éprouvées, disait avoir acquis une sensibilité spéciale pour les rayons X, qui provoquaient sur ses mains, même à grande distance, une sensation de frémissement douloureux. J'ai vu une femme, qui présentait une lésion au 3e degré de la région antérieure et supérieure de la cuisse, avoir en même temps une large zone d'anesthésie occupant les régions fessière, crurale externe et postérieure, s'étendant en bas jusqu'aux environs du creux poplité. Les mêmes régions étaient le siège d'élancements douloureux spontanés. Ces douleurs s'irradiant assez loin des névrodermites sont loin d'être rares. Elles suivent le plus souvent le trajet des nerfs, simulant des névralgies, se présentant même sous forme d'élancements fulgurants. Chez une malade dont nous avons publié l'observation de radiodermite tardive du sein, les douleurs s'étendaient vers l'épaule et gênaient beaucoup les mouvements d'élévation du bras.

Blépharites, conjonctivites. — Ces accidents se sont présentés très rarement et n'ont, en somme, différé de la radiodermite chronique que par leur siège. C'est toujours chez des observateurs ayant pendant longtemps regardé des ampoules en fonctionnement qu'on les a signalés. Chute des cils, rougeur du rebord palpébral, larmoiement, conjonctivite, c'est sous cet aspect qu'ils se sont produits, sans jamais, d'ailleurs, intéresser plus sérieusement le globe de l'œil.

Outre les accidents gastriques signalés plus haut, nous ne sachons pas qu'on ait jamais décrit d'autres symptômes viscéraux. Les fonctions urinaires, la menstruation, le cours de la grossesse ne sont en rien influencés par les

rayons X (1). Nous avons vu, à chaque époque menstruelle, la radiodermite présenter une certaine exacerbation ; les douleurs, à ce moment, deviennent plus vives, la rougeur plus foncée, mais on sait que cette aggravation passagère se serait tout aussi bien produite pour toute autre affection cutanée ou pour toute autre plaie n'ayant pas les rayons X comme cause.

Paraplégie. — A propos des accidents généraux, nous ne devons pas négliger de rappeler la paraplégie que nous avons observée, Barthélemy, Darier et moi, chez un des nombreux animaux que nous avons exposés aux rayons X. Il s'agit d'un cobaye, qui, dix jours après une séance d'une heure, fut pris d'affaiblissement progressif des membres postérieurs. En cinq ou six jours la paraplégie était complète. Et ce fut seulement huit jours plus tard que commença la radiodermite des régions fessières gauche et lombaire ; aujourd'hui, plus de deux ans après le début de ces accidents, la paraplégie persiste encore.

Nous avons trouvé, dans la thèse de Mlle Ogus, des observations analogues de paraplégies survenues chez des cobayes, dont la colonne vertébrale avait été exposée aux rayons X. Dans un cas, la paraplégie fut complète, mais disparut peu à peu pendant le mois suivant. Chez trois autres animaux, des troubles nerveux de même nature furent aussi constatés, mais sans aller jusqu'à la paralysie complète.

Ces paraplégies ne me semblent pas devoir être considérées comme le terme ultime des manifestations nerveuses que nous aurons à décrire. La peau du cobaye est peu résistante à l'action des rayons de Röntgen, leur moelle épinière étant très superficielle, mal défendue par une seule épaisseur osseuse, a été facilement lésée par les radiations. Je ne crois pas, en raison de l'apparition rapide des troubles moteurs, qu'on puisse ici faire intervenir une névrite secondaire, mais bien plutôt qu'il s'agit d'une altération directe avec destruction des éléments nerveux; ces faits n'en ont pas moins une grande importance en nous montrant l'extrême vulnérabilité des cellules nerveuses par les rayons X, sur laquelle nous aurons à revenir plus tard (2).

§ 2. — Radiodermite aiguë.

Pour l'étude de cette forme aiguë nous ne croyons pas devoir créer de nombreux types cliniques, suivant, par exemple, que la lésion soit seulement un érythème, ou une épilation, ou une eschare. Nous savons que ces différentes formes sont les étapes d'un même processus qui, suivant l'intensité ou la durée de la cause initiale, peut être plus ou moins grave, plus ou

(1) Nous avons pourtant vu une cobaye pleine, exposée pendant une heure à quelques centimètres d'une ampoule faible, mettre bas, 22 jours après cette exposition excessive, trois petits qui moururent le jour même, avant qu'apparussent l'alopécie et la radiodermite chez la mère.

(2) D'autres auteurs, Guido Sala plus particulièrement, ont publié récemment des cas analogues de paraplégie chez des animaux exposés aux rayons X.

moins profond; nous nous bornerons donc à l'étude de la radiodermite aiguë profonde, dans l'évolution de laquelle nous rencontrerons, se succédant dans un ordre constant, et constituant des périodes distinctes, toute la gamme des altérations de tissus provoquées par les rayons de Röntgen.

Symptômes. — Il nous faut, pour la clarté de cette description, la séparer en chapitres répondant à des périodes cliniques parfaitement nettes. Comme nous le verrons en traitant des formes ou variétés de radiodermites aiguës, une ou plusieurs de ces phases peuvent manquer, une lésion légère peut se borner aux premières périodes, ou même à un de leurs symptômes. Quoi qu'il en soit; dans la forme aiguë grave, les choses se passent comme nous allons le décrire.

Première période. — *Érythème.* — Il se produit vingt-quatre ou trente-six heures après l'exposition. C'est d'abord et pendant un jour ou deux une légère teinte rosée de la peau, tranchant à peine sur la coloration normale. Cet érythème est uniforme ou quelquefois ponctué, lenticulaire, mais rapidement les taches isolées se réunissent, et l'ensemble prend une coloration plus franche de dimensions variables suivant les cas, suivant que la surface immédiatement touchée par les rayons nocifs est plus ou moins étendue. Les poils, s'il y en a sur la région malade, restent parfaitement adhérents. La sensibilité locale est presque nulle, rien ne semble plus bénin que cette première étape. Mais bientôt les choses vont changer, et l'affection entre dans sa seconde période (1).

Deuxième période. — *Vésicules. Bulles. Phlyctènes.* — L'érythème est devenu de plus en plus foncé, ressemble comme coloration à une engelure, il est rouge vif, ou rouge brun, ou encore rouge violacé; il reste continu dans son milieu, et disséminé par taches au pourtour de la lésion. Peu à peu, de dix à vingt-cinq jours après le début, apparaissent des démangeaisons légères d'abord, puis de plus en plus vives, provoquant des besoins de grattage surtout impérieux la nuit. A ce moment on voit apparaître, sur la surface rouge, de légères élevures acuminées ou papuleuses. Elles semblent, pendant un jour ou deux, formées par un épaississement du derme, et on les croirait de même consistance que des éléments papuleux et congestifs, mais si on vient à piquer l'une d'elles, on la voit s'affaisser après avoir laissé écouler une sérosité jaunâtre, visqueuse, un peu louche. Peu à peu cette tuméfaction œdémateuse augmente de volume, les élevures se fusionnent et forment alors des bulles ou des phlyctènes de dimensions variant en moyenne entre celle d'une lentille et d'une pièce de un franc. Leur contenu devient de plus en plus louche, puis franchement purulent, et enfin elles se déchirent en laissant à nu une surface ulcérée. Les intervalles qui séparaient ces phlyctènes ne sont pas complètement indemnes et perdent l'aspect lisse,

(1) Après une séance courte à faible distance des téguments, on voit souvent paraître le soir même, ou le lendemain matin, un érythème quelquefois assez vif, qui dure 24 ou 36 heures et qui n'est jamais suivi de rien de plus grave. Nous verrons plus loin que nous cherchons même à le provoquer en radiothérapie.

qu'avait au début l'érythème. L'épiderme y devient suintant, croûtelleux, se desquame. Les îlots érythémateux isolés prennent souvent à cette période une coloration pourpre ou ecchymotique. Les démangeaisons font peu à peu place à des douleurs plus vives, sensation de brûlures, de cuissons insupportables, empêchant souvent le sommeil. Le besoin de grattage, impérieux il y a quelques jours, et provoquant la déchirure des vésicules et des phlyctènes, non seulement n'existe plus, mais même les malades évitent le contact de leurs draps, ou du moindre pansement, dont les frottements sont très pénibles. Cette phase dure de dix à quinze jours. Quelquefois elle peut se prolonger bien davantage, et la lésion en rester là, peu à peu la peau reprenant son apparence normale, et tout rentrant dans l'ordre. Malheureusement il est loin d'en être toujours ainsi, et après cette étape le malade entre dans la troisième période, celle de vésication.

Pigmentation. — Mais avant d'aller plus loin, nous devons ici étudier un phénomène qui se produit pendant cette seconde période, qui ne manque jamais, qui, sans avoir de gravité, est pourtant pour ainsi dire pathognomonique des dermatites röntgéniques, c'est la pigmentation, qui commence à



Fig. 357. — Radiodermite 2e période. Tout le tronc est pigmenté, sauf la partie de la région inguino-crurale droite, qui a gardé l'ancienne coloration du derme, ayant été protégée par une plaque de plomb.

apparaître cinq ou six jours après l'exposition et qui s'accentue de plus en plus pendant la deuxième période. Elle commence immédiatement à la périphérie de l'érythème, où elle est le plus foncée, pour s'étendre très loin de la région malade. Nous l'avons vue, dans un cas, accompagnant une lésion de la région abdominale, couvrir toute la face antérieure du corps et des cuisses. Chez les sujets à peau naturellement pigmentée, elle est beaucoup plus accentuée que chez les autres. Chez une femme à peau très brune,

les téguments avaient pris, autour d'une lésion de la région crurale, la coloration ardoisée d'une peau de nègre. Si, antérieurement, existaient des taches pigmentaires, même très éloignées de la région exposée, leur coloration se fonce notablement. J'ai vu, chez une malade atteinte de phtiriase ancienne, la vieille et très légère pigmentation disséminée s'accentuer au point que la peau de la région antérieure du tronc semblait tigrée, et cela après une seule exposition aux rayons X, qui n'amena localement qu'un très léger érythème. Pendant un essai de radiothérapie portant sur la région inguinale gauche, la région symétrique droite avait été protégée par une lame de plomb (fig. 357). Or, quelque temps après, la partie ainsi protégée tranchait tellement, par la blancheur de sa peau, sur la coloration plus brune de tout le tronc, que nous avons pu croire à une dépigmentation par les rayons de Sagnac, et que nous avons cherché à vérifier ce fait en exposant ultérieurement d'autres malades pendant longtemps aux rayons X, après interposition de lames de plomb entre la peau et l'ampoule. Nous avions choisi pour ces essais, le docteur Barthélemy et moi, des femmes présentant des pigmentations spécifiques du cou. Nous espérions voir la tache pigmentaire ancienne disparaître. Il n'en a rien été, et il a bien fallu nous rendre à l'évidence : toute la face antérieure du corps de notre malade avait été hyperpigmentée, sauf la partie protégée par la lame de plomb.

Cette pigmentation ne s'éteint que très lentement. Chez le sujet de l'observation précédente, elle était encore parfaitement apparente plus de huit mois après l'exposition aux rayons; mais chez d'autres, au bout d'un temps variant de deux à six mois, cet épiderme pigmenté se détache par larges plaques, se desquame et disparaît.

Épilation. — C'est aussi à cette période des radiodermites que se produit la chute des poils, phénomène accessoire sur lequel ont beaucoup insisté les premiers opérateurs ayant observé des accidents. C'est pour ainsi dire la plus bénigne, la plus superficielle, la plus simple des manifestations d'altérations des tissus sous-épidermiques.

Dans les radiodermites chroniques, les poils des mains ou de la face tombent aussi, ou, quand ils ne tombent pas, s'atrophient, deviennent plus rares, secs et cassants, amincis.

Dans la radiodermite aiguë rien n'est plus variable, plus inconstant, plus irrégulier dans sa marche, dans l'époque de son apparition, que ce symptôme. Nous avons vu, sur de vastes surfaces érythémateuses, vésiculeuses même, tous les poils persister très adhérents, et ne se décider à tomber que quand tout l'épiderme se détache. Dans d'autres cas, la chute des poils est le seul symptôme observé.

L'épilation peut être précoce, commencer cinq ou six jours après l'exposition. Elle peut être beaucoup plus lointaine, n'apparaître que quinze jours ou trois semaines plus tard. Le plus souvent, de dix à vingt jours après une ou plusieurs séances, on constate que les poils viennent facilement à une légère traction, cela persiste pendant cinq, dix, quinze jours, puis cesse,

laissant la région plus ou moins dénudée. Les poils restants semblent absolument normaux.

Cherchant expérimentalement à déterminer si l'épilation se produit plutôt après une séance prolongée ou après plusieurs séances courtes, nous avons, le docteur Barthélemy et moi (1), soumis un certain nombre de sujets aux rayons X, en nous plaçant dans des conditions identiques, mauvaises il est vrai, comme nous le verrons à propos des ampoules, puisque nous prenions des tubes durs; nous n'avons pu arriver à aucune conclusion, en raison même de l'inconstance des résultats. Nos essais ont porté sur 12 sujets. Nous avons eu deux fois un érythème assez foncé et étendu, accompagné, dans un cas, d'une épilation légère, dans l'autre, d'une épilation presque totale. Cinq fois il ne s'est pas produit la moindre chute de poils; dans trois cas il y a eu une épilation partielle et passagère. Enfin, deux fois seulement, l'épilation a été presque complète sans érythème. Et ces résultats ont été complètement hors de rapport avec la durée des expositions, un érythème ayant pu apparaître après une séance plus courte que celle qui ne donnait qu'un résultat absolument négatif chez un autre sujet.

La couleur des poils ni la nature de la peau ne nous ont non plus fourni aucune indication précise. Mais l'épilation est plus rapide, plus complète quand les poils sont fins que quand ils sont gros et durs. Le duvet tombe difficilement. Chez les animaux, les cobayes et les chiens particulièrement, l'épilation est très difficile à obtenir, plus facile chez les lapins.

Environ deux mois après la chute des poils, ils commencent à repousser et en peu de temps la région a repris son aspect antérieur. Et pourtant l'alopécie définitive peut être obtenue après une seule séance. J'ai pu récemment en constater un cas chez un ingénieur qui garde à la région temporo-occipitale une large tache complètement glabre consécutive à une seule exposition faite il y a plus de quatre ans.

On a dit aussi que quand les poils repoussaient, une nouvelle exposition en amenait la chute rapide et qu'après quelques séances ainsi espacées l'épilation restait totale et parfaite.

Tout ce que nous devons dire ici du symptôme épilation, c'est que sans douleur, spontanément, de quinze à vingt jours après l'exposition, les poils tombent plus ou moins abondamment, pour repousser environ deux mois après, avec la même couleur et la même épaisseur et abondance; quelquefois (S. Conrad Schiff), les poils se décolorent avant de tomber, quelquefois aussi ils repoussent blancs comme après certaines pelades.

Troisième période. — *Ulcération superficielle.* — Dans les descriptions qui ont été faites jusqu'à présent des lésions dues aux rayons X, on n'a pas, à mon avis, assez nettement séparé la période d'ulcération de celle d'escarrification. Il semblerait, à les lire, que se forme d'abord une escarre qui,

(1) Oudin et Barthélemy, Note sur l'épilation par les rayons X. *Ann. d'électro-biologie*, mars-avril 1900.

après s'être éliminée, laisse derrière elle une ulcération. Or, il n'en est rien, les choses sont plus complexes, et prennent ici une forme qui les différencie complètement de toutes autres lésions similaires.

D'abord et après la déchirure des phlyctènes se trouve constituée une ulcération superficielle : ce sont ensuite les tissus dénudés et ulcérés qui ultérieurement se mortifient et forment l'escarre, laquelle à son tour, longtemps après, en s'éliminant, découvre une ulcération bien plus profonde que la première.

L'ulcération superficielle paraît être au début très bénigne et devoir se terminer rapidement et simplement. C'est d'ailleurs un caractère commun de toutes ces lésions des rayons X, précédant la mortification des tissus, qu'elles semblent en apparence de la plus grande simplicité. Ici les sensations de brûlure et de cuisson souvent pénibles qui accompagnaient la deuxième période s'atténuent et même disparaissent complètement. La sensibilité de toute la région est normale, un peu exagérée seulement sur les surface dénudées ou très rouges. Les surfaces laissées à vif par la déchirure des phlyctènes, qui s'étendaient d'abord de proche en proche par fusion de petites ulcérations juxtaposées, semblent à un moment donné, six semaines ou deux mois après le début, être arrivées à leur maximum d'étendue. Les bords des ulcérations prennent une coloration nacrée ou rosée d'apparence cicatricielle. Ils sont irréguliers, ont un peu les contours des cartes géographiques; au centre de l'ulcération il n'est même pas rare de voir se former de petits îlots cicatriciels à bords arrondis, de même apparence. La plaie suppure à peine, et semble en excellente voie de cicatrisation rapide. On voit souvent même une partie d'une ulcération se cicatriser complètement. Puis, peu à peu, ce travail de réparation s'arrête; la plaie prend une apparence nouvelle, son fond devient lisse, rouge brun, avec, en certains points, des taches jaunes pâles ou brunes plus foncées; les douleurs reparaissent. Elles sont plus profondes, plus violentes, les malades les comparent à des déchirures, des morsures aiguës; elles s'irradient assez loin de la plaie, souvent même siègent à quelque distance d'elle. La lésion va entrer dans une nouvelle phase.

Quatrième période. — *Escarrification.* — A ce moment on voit très fréquemment apparaître autour de la lésion des changements de coloration fort intéressants, et semblant répondre superficiellement au travail plus profond qui se fait parallèlement dans les tissus ulcérés.

Certains points reprennent la couleur rouge vif du début, ressemblant à des engelures; d'autres, au contraire, sont d'un blanc lisse *lardacé*, tout à fait analogue, comme couleur, à du tissu cicatriciel, mais n'en ayant en rien la consistance. Le derme est, en effet, en ces points épaissi, dur, de consistance scléreuse. Il y a là un spasme vaso-moteur extrême; on croirait avoir affaire à un tissu mort qui va rapidement s'éliminer, et on est très surpris de trouver une sensibilité superficielle normale et même exaspérée. Ces îlots rouges ou blancs sont très nettement isolés les uns des autres et présentent toujours les mêmes contours géographiquement disposés; quelque-

fois ces tissus s'ulcèrent, quelquefois aussi ils reprennent peu à peu leur apparence normale. On peut même voir les parties naguère blanches devenir rouges à leur tour; ainsi qu'on en a un remarquable exemple dans deux moulages du musée de l'hôpital Saint-Louis, pris sur la même malade, à quelques semaines d'intervalle (2145) (1). Nous conseillons fort de comparer ces moulages à ceux de sclérodermie en plaques; l'aspect du derme dans cette affection présente la plus grande analogie avec la radiodermite à la même période.

Les douleurs, avons-nous dit plus haut, reparaissent au début de l'escarrification et persistent pendant toute cette période, présentant souvent une acuité, une violence qui semblent hors de proportion avec leur cause. Habituellement, en effet, si une cause externe a provoqué une escarrification de la peau, une fois l'escarre constituée, la lésion est presque indolore. Ici, au contraire, comme dans certaines formes de maladie de Raynaud ou de trophonévroses, les douleurs sont atroces, s'irradient assez loin de la lésion, siègent même exclusivement dans son voisinage et peuvent être assez violentes pour empêcher le sommeil et provoquer un certain degré d'éréthisme nerveux allant même quelquefois jusqu'à amener de la cachexie.

Leur début coïncide avec l'apparition, sur la surface ulcérée, de taches jaunes, grises ou brun noirâtres, qui s'étendent rapidement, se fusionnent, deviennent de plus en plus épaisses jusqu'au moment ou leur réunion constitue une escarre brune, jaune en certains points, d'une étendue proportionnelle à la surface lésée et dont les caractères principaux sont la consistance, l'épaisseur, l'adhérence aux parties profondes, et le peu de tendance à l'élimination.

La consistance en est dure, ligneuse, l'escarre est sèche, n'est pas sensible au choc ni à la pression. Très rapidement, presqu'aussitôt que formée, elle se sépare par la périphérie des tissus ambiants et se rétracte de façon à laisser entre elle et la peau une zone de plusieurs millimètres de largeur, de couleur gris sale, laissant suinter une sérosité épaisse, visqueuse, jaunâtre, à peine teintée de pus : zone qui, formée par le fond de l'ulcération, semble ainsi constituée par un tissu mortifié, sous lequel apparaissent à la longue quelques rares bourgeons charnus. L'épaisseur de l'escarre est considérable, peut atteindre 1 centimètre et plus, malgré sa rétraction, qui fait que son niveau est au-dessous des parties ambiantes et qu'elle semble enfoncée dans un cratère. Si on essaie de la soulever, on voit qu'elle tient aux parties profondes par de nombreux filaments de tissu cellulaire ou élastique, courts et très tenaces, que l'on ne peut déchirer sans faire saigner la plaie et sans provoquer de vives douleurs. Les bords de l'ulcération sont taillés à pic et sont le siège d'un travail de cicatrisation lente, de sorte que son bord interne est rouge vif, entouré d'une zone de tissu cicatriciel blanc nacré.

Les choses peuvent rester dans cet état pendant de longs mois, puis peu

(1) On peut même, à propos de ces lésions siégeant sur le sein, constater leur grande analogie avec une autre pièce du musée, reproduisant des lésions trophonévrotiques hystériques siégeant aussi sur les seins (1945-1963).

à peu le liquide devient plus franchement purulent et plus abondant, les bourgeons charnus apparaissent plus nombreux dans la zone grise, l'escarre se laisse de plus en plus facilement soulever, jusqu'au jour où elle se détache par fragments ou, plus rarement, en totalité (Planche VI).

Cinquième période. — *Ulcération profonde.* — L'escarre, en tombant, laisse à nu une surface d'un rouge vif, saignante, formée par de très volumineux bourgeons charnus. Les bords de cette ulcération s'affaissent et sont assez rapidement le siège d'une cicatrisation active. On croit enfin que tout cela va se terminer, mais il n'en est encore rien, et quinze jours, un mois après la chute de l'escarre, on voit, au centre de l'ulcération, apparaître de nouvelles taches jaunes ou noires, dont la réunion constitue une nouvelle escarre plus profonde que la première et à marche aussi désespérément lente, après la chute de laquelle les bourgeons charnus d'une belle coloration rouge, exubérants, n'aboutissent qu'avec la plus extrême lenteur à la cicatrisation. Dans d'autres cas, au lieu d'une escarre sèche, c'est une croûte mélicérique jaune, dure, épaisse, qui recouvre la partie centrale de l'ulcération. La cicatrisation, qui a continué sur les bords, vient l'encadrer étroitement ; les choses peuvent encore rester dans cet état pendant un ou plusieurs mois, jusqu'à ce que cette croûte cède lentement, en s'éliminant par débris, devant les progrès de la cicatrisation.

Et encore ici, pendant que se forme l'escarre secondaire, reparaissent les violentes douleurs du début, qui avaient à peu près disparu pendant les dernières semaines de la période précédente (Planche VII).

Cicatrisation. — La cicatrice des radiodermites graves se présente sous un aspect tout spécial. Pendant les premiers mois qui suivent sa formation, elle est lisse, très régulière, plate, d'une coloration blanche parfaite, tranchant d'autant plus sur la peau souvent encore hyperpigmentée du voisinage. Elle est très épaisse et pourtant souple, ne se laisse pas pincer par les doigts et a la consistance d'un tissu lardacé. Elle succède aussi bien sous cet aspect à l'ulcération de la troisième période qu'à celle de la cinquième, de sorte qu'on peut, chez un sujet qui a présenté une ulcération étendue, rencontrer à la fois cette cicatrice, que sa couleur et son aspect font paraître très ancienne, une ulcération secondaire et une escarre centrale.

Cet aspect de la cicatrice, avec ses bords arrondis, en forme de carte géographique, est tellement spécial qu'il permet, sans autre commémoratif, de faire un diagnostic rétrospectif de la cause de la lésion.

A ce moment, la cicatrice ne semble avoir aucune tendance à la rétraction. Ce n'est que beaucoup plus tard, des mois après sa formation, qu'elle commence à se rétracter, à perdre son aspect spécial, pour ressembler à la cicatrice de toute brûlure grave et profonde, amenant même par sa rétraction des déformations profondes des régions. Nous avons vu une de ces cicatrices anciennes du pli du coude amener une flexion forcée et irrémédiable de l'avant-bras sur le bras.

La peau du voisinage présente aussi des altérations toutes spéciales et

que nous n'avons rencontrées dans aucune autre affection ; c'est un aspect télangiectasique tout à fait remarquable qui peut déjà commencer à apparaître pendant la période d'escarrification, mais qui, le plus souvent, ne se montre que beaucoup plus tardivement. Il est constant après les brûlures par rayons X et peut s'étendre assez loin de la cicatrice. Il est caractérisé par de petites taches lenticulaires d'un rouge vif, formées par la dilatation d'un bouquet de capillaires autour d'un petit vaisseau central. Ces taches s'effacent incomplètement sous la pression du doigt. Que deviennent-elles ultérieurement ? Se fusionnent-elles, disparaissent-elles ? Je l'ignore, n'ayant pas observé de cicatrices assez anciennes pour que ces taches se soient transformées. Quoi qu'il en soit, leur apparition si tardive autour des cicatrices nous montre bien combien profondément sont atteints dans leur nutrition les tissus lésés par les rayons X (1).

Marche, Durée. — D'après la description précédente, on voit combien la marche de ces radiodermites graves est désespérément lente. Chez le malade d'Apostoli, plus de dix-huit mois après l'exposition aux rayons, il restait encore une partie centrale plus large qu'une pièce de cinq francs couverte d'une croûte mélicérique. A chaque nouvelle période, on croit enfin en avoir fini, et on ne fait que commencer une nouvelle étape plus longue que les précédentes. Nous venons de décrire la lésion type, pour ainsi dire de faire la synthèse des radiodermites. Nous avons vu l'ulcération primitive commencer de quinze jours à six semaines après la cause nocive ; mais nous avons observé, chez M. le professeur Fournier, une femme chez laquelle débutèrent des troubles trophiques, dix mois après un certain nombre de séances de radiothérapie, alors que, dans l'intervalle, la peau paraissait absolument saine, sans rougeur, sans éruption, sans douleur ; et en deux mois la lésion avait parcouru toutes ses périodes pour aboutir à l'ulcération et à l'escarrification. Pendant le cours de la cinquième période on voit, chez le malade d'Apostoli, se former, à côté de l'ulcération principale, une ulcération secondaire qui apparaît plus d'un an après le début, sur une peau en apparence parfaitement saine ; quelquefois on voit tout d'un coup une large surface de cicatrisation, parfaite en apparence, s'éliminer et se mortifier en quelques jours, et à sa place reparaître une nouvelle escarre ou une nouvelle éruption.

Le moindre traumatisme dans le voisinage d'une radiodermite, ou même simplement sur une région antérieurement exposée aux rayons, et saine en apparence, peut provoquer une ulcération caractéristique.

J'ai publié (*Soc. d'électrothérapie*, mars 1900) deux observations de ce genre : dans l'une, malade du service du docteur Bar, six mois après une séance de rayons X, une injection de sérum était suivie rapidement d'une large escarre autour de la piqûre de l'aiguille, et d'une mortification complète,

(1) Kienbock a signalé récemment, après une épilation simple, l'apparition tardive de télangiectasies qui pourraient ainsi apparaître après une action superficielle des rayons X sans avoir été précédées d'ulcérations.

sans suppuration, de tous les points du tissu cellulaire où avait fusé le sérum. Chez l'autre, six mois aussi après quelques séances de radiothérapie, une douche raisonnablement chaude, projetée sur la région saine en apparence jusque-là, y provoque l'ulcération spéciale. Souvent un sillon de grattage, une simple écorchure insignifiante, deviennent le point de départ de nouvelles ulcérations. J'ai vu, chez une femme cachectique syphilitique présentant des papules spécifiques sur la région exposée aux rayons, chacune de ses papules devenir le point de départ d'une ulcération ; et ces faits m'ont fait dire que je croyais qu'on devrait être très prudent dans les interventions chirurgicales consécutives à des expositions prolongées aux rayons X.

Il faut heureusement aussi savoir que les choses ne sont pas toujours aussi graves que nous venons de le décrire et qu'on peut voir la radiodermite s'arrêter à une quelconque des périodes précédentes. Il en est qui ne dépassent pas la période d'érythème, d'autres s'arrêtent à la vésication pour se cicatriser de suite, et cela est souvent la règle. Mais je crois qu'il est aujourd'hui, quand on voit se produire une vésication après une séance de rayons X, impossible de prédire ce qui va se passer. Tout peut se borner là et s'arrêter en quelques jours, mais aussi bien le patient peut commencer la plus grave, la plus douloureuse, la plus pénible des lésions. On doit savoir aussi que des causes accessoires peuvent avoir un certain retentissement sur les radiodermites. Nous avons vu des femmes qui, à chaque période menstruelle, faisaient une poussée d'érythème autour de leurs lésions, en même temps que, pour quelques jours, s'exacerbaient leurs douleurs. Et, d'autre part, chez la malade du docteur Bar, une radiodermite de l'abdomen ne modifia en rien une grossesse et ne fut pas aggravée par l'accouchement. Nous n'insisterons pas ici sur le diagnostic qui est fixé par les commémoratifs.

Traitement. — Tous les traitements possibles ont été proposés contre les radiodermites graves ; et tous sont restés également impuissants. Il n'est pas une poudre, un corps gras, un pansement humide, qui n'aient été essayés sans résultat. Ceux qui sembleraient rationnellement ou par analogie les mieux indiqués, comme l'iodoforme ou l'acide picrique, n'ont eu aucune utilité spéciale. Schiff, A. Schönberg, recommandent l'eau de Goulard contre l'érythème. Il faut d'ailleurs bien dire que les lésions dues aux rayons X n'ont que peu ou même pas de tendance à être le siège d'infections secondaires ; elles doivent être de très mauvais terrains de culture. Leur surface ne s'enflamme pas, suppure à peine, n'a aucune odeur, et même, chose très étonnante, elles ne s'accompagnent pas de lymphangites ni d'adénopathies. On peut voir des lésions très étendues siégeant à côté de l'aine, par exemple, ne provoquer l'apparition d'aucun ganglion douloureux, même si les malades sont restés sans pansements, ou avec des pansements incomplètement antiseptiques.

Ce qui est pourtant certain, c'est que, pendant la troisième et la quatrième périodes, le contact de l'air est pénible pour les malades et exagère beaucoup leurs douleurs. Aussi faut-il faire des pansements occlusifs aussi

complets que possible, et, dans cet ordre d'idées, nous recommanderons tout particulièrement les épais gâteaux d'ouate recouverts de taffetas gommé ou caoutchouté, sous lesquels il faut même, pour bien faire, appliquer une gaze imbibée d'une solution de cocaïne et, plus tard, d'orthoforme.

A côté des pansements, il est d'autres modes de traitement qui semblent avoir donné de bons résultats. Le malade d'Apostoli a vu ses douleurs diminuer notablement par l'effluvation statique, en même temps que la plaie marchait plus rapidement vers la guérison. Chez un sujet portant à la cheville une ulcération radiographique depuis longtemps stationnaire, j'ai essayé l'effluvation de résonance, qui en a vite modifié l'aspect et a amené une guérison relativement rapide. En un mois la cicatrisation fut complète, alors que pendant les cinq mois précédents l'ulcération était restée à peu près stationnaire. Je faisais à ce malade trois séances d'effluvation par semaine, de dix minutes environ chacune. Je signalerai aussi, comme ayant donné de bons résultats, les pulvérisations d'eau oxygénée.

Tout récemment, le docteur Bar a eu l'idée ingénieuse de traiter une vaste ulcération radiographique par la lumière rouge; et par ce procédé la réparation de la lésion a été rapide, elle s'est certainement faite plus vite qu'on n'aurait pu l'espérer. L'ulcération siégeait sur l'abdomen. On fit une sorte de caisse en bois noir emboîtant l'abdomen de la malade, et dont le couvercle était constitué par un verre rouge distant d'environ 5 centimètres de la peau. Sur la plaie était immédiatement appliquée une lame de verre blanc mince qui l'isolait du contact de l'air. La patiente, couchée sur son lit, était pendant une grande partie de la journée exposée au grand jour, sous une galerie vitrée.

Théoriquement, et si on songe que le rouge et l'infra-rouge sont pour ainsi dire antagonistes du violet et de l'ultra-violet, cet essai est très séduisant. L'ultra-violet voile la plaque photographique, l'infra-rouge la dévoile; l'ultra-violet excite la fluorescence et la phosphorescence qu'éteint le rouge. D'autre part, nous savons que les lésions superficielles dues aux rayons X sont semblables à celles que produisent les rayons chimiques du spectre. Il était donc légitime de rechercher si cet antagonisme chimique était aussi physiologique. C'est ce que cette observation semblerait prouver. Quoi qu'il en soit, nous ne saurions trop conseiller d'en renouveler l'essai.

On a eu plusieurs fois recours, contre les radiodermites graves, au traitement chirurgical, large ablation des tissus malades et suture sur la plaie de la peau saine du voisinage (Patrick Cassidy, Huntington); le résultat aurait été excellent.

§ 3. — Radiodermite chronique.

On aurait pu appeler les formes précédentes d'accidents « radiodermite des opérés ». Celle-ci est la « radiodermite des opérateurs ». Son apparition n'est pas soudaine et imprévue, comme celle de la radiodermite aiguë, mais lente, progressive, presque silencieuse à ses débuts. Il a été publié quelques

observations de radiodermites chroniques de la face. Mais c'est presque toujours aux mains qu'elle apparaît, parce que, pour l'essai des ampoules ou des écrans, ce sont toujours les mains qu'on examine ; ce sont elles qui tiennent l'écran, et, à chaque instant, s'approchent plus ou moins près de l'ampoule.

Symptômes et description. — Au début, c'est la circulation capillaire qui semble plus particulièrement intéressée. Il se produit un certain degré d'acrocyanose ; les doigts sont violacés, rouges ; on a des mains de cuisinière ; cela sans sensations pénibles, un peu de sècheresse de la peau seulement, un peu de sensation de chaleur. Puis l'érythème diffus devient à certains points, le plus souvent sur la deuxième et la troisième phalanges, plus accentué, souvent même un peu saillant, de façon à simuler les engelures. A ce moment il peut se faire, comme dans l'observation de Balthazard, qu'apparaissent sur ces saillies érythémateuses quelques vésicules qui laissent derrière elles des ulcérations superficielles ; mais ceci rentrerait plutôt dans le cadre des radiodermites aiguës. Ce qui est au contraire la règle et ce qui caractérise même la forme chronique, c'est l'épaississement du derme, qui devient peu à peu moins souple, plus dur ; le pli que l'on y fait en le pinçant reste saillant, ne revient pas de suite sur lui-même. Au niveau des articulations, surtout de celles des premières et deuxièmes phalanges, s'accusent de larges et profonds plis transversaux, surtout apparents dans l'extension. La rigidité, le manque de souplesse de la peau en même temps que son épaississement vont même jusqu'à gêner la flexion et rendent difficile la fermeture complète de la main.

Presque tous les auteurs qui ont décrit les radiodermites à cette période ont signalé en même temps la chute totale des poils. Pour ma part, alors que l'état de mes mains était celui que je viens de dire, j'y ai constaté au contraire la persistance des poils qui ne sont tombés, et même jamais totalement, que plus tard, quand les lésions sont devenues plus sérieuses.

Ce qui est le plus pénible à cette période d'acromégalie cutanée, c'est l'épaississement, le fendillement des rebords épidermiques unguéaux, qui sont à chaque instant déchirés et saignants.

L'épiderme hypertrophié ne tarde pas à perdre son intégrité. Il se forme d'abord, au fond des sillons séparant les épais replis transversaux, des écorchures, des crevasses douloureuses ; la peau devient rugueuse, ridée, se desquame par places et est le siège d'une exfoliation épidermique active. Souvent la face palmaire se prend à son tour et sa peau présente le même aspect de sécheresse et de dureté (1).

Les altérations des ongles sont constantes à cette période. Quelquefois ils tombent complètement ; leur partie libre devient progressivement plus étendue par une sorte de décollement dont la marche est des plus irrégulières. Tantôt c'est une moitié latérale de l'ongle qui se détache et qu'il faut

(1) J'ai pu observer récemment, dans deux cas de radiodermite ancienne, la formation d'excroissances épidermiques ressemblant à des verrues, ou, plus exactement, à ce qu'on a décrit sous le nom de crasse des vieillards.

couper ; au-dessous d'elle on trouve un épiderme épaissi, écailleux : dans certains cas, c'est la partie adhérente de l'ongle qui s'est décollée la première et soulevée en dehors de sa matrice, cet ongle restant ainsi un certain temps, ne tenant plus que par son bord inférieur, avant de tomber tout à fait.

Le plus souvent, au lieu de ce décollement total, on observe plutôt une sorte d'usure, de disparition lente de l'ongle, qui s'amincit, devient cassant, strié longitudinalement. L'hypertrophie des rebords unguéaux le déborde, le recouvre, il se rapetisse et devient de plus en plus irrégulier comme forme, se réduisant à une petite surface de quelques millimètres de consistance molle.

Les troubles de nutrition de la radiodermite chronique ne restent pas limités à la peau. Tous les observateurs ont constaté, si l'action des rayons a été suffisamment prolongée, un épaississement notable des phalanges, qui est dû surtout au périoste. La radioscopie des mains montre, en effet, que les os n'ont pas augmenté de volume. Les articulations aussi sont plus grosses, et je me rendais très bien compte, quand mes mains étaient dans cet état, que mes tissus péri-articulaires étaient hypertrophiés, ce qui augmentait encore la gêne produite par l'épaississement de la peau dans les mouvements de flexion.

M. Hallopeau a présenté, à la séance de juillet 1902 de la Société de dermatologie, un malade porteur d'une radiodermite chronique ancienne. Les articulations des phalanges étaient ankylosées, l'aspect général de la main était celui que présentent certaines formes d'arthropathies déformantes avec ankylose dans l'extension. Toute la peau dorsale de la main était criblée de ces taches télangiectasiques que nous avons décrites plus haut.

Le tremblement des doigts est aussi un symptôme constant de la radiodermite chronique. Il se présente sous la forme que nous avons décrite plus haut ; nous n'y reviendrons pas.

Dans la plupart des cas, les choses ne vont pas plus loin ; la gêne des mouvements, l'infirmité relative, sont assez grandes pour obliger de cesser tout travail de radiographie. Si on voulait passer outre, on verrait, comme cela est arrivé quelquefois, les ulcérations s'étendre, devenir croûteuses, la main prendre l'aspect d'un eczéma aigu. Nous n'avons vu signalées nulle part l'escarre ou les ulcérations profondes comme degré ultime de la radiodermite chronique ; mais cela, évidemment, parce que quand les choses en sont arrivées à ce point, on prend des précautions, on évite de s'approcher ou de rester trop longtemps auprès des ampoules. S'il survenait, dans ces conditions, une exposition prolongée aux radiations d'un bon tube, on verrait nécessairement survenir des accidents aigus, plus facilement même que sur une main saine. Mais alors on aurait affaire à une radiodermite aiguë venant se greffer sur la forme chronique.

La marche de la radiodermite chronique est, avons-nous vu, très lente et insidieuse ; mais pourtant, on constate, dans son évolution, des poussées plus aiguës tenant toujours à une action plus intense des rayons. Pendant

quelques jours, les mains sont plus gonflées, plus sensibles, puis tout rentre dans un ordre relatif. Et, plus la radiodermite est ancienne, plus la peau devient sensible aux rayons, une exposition de quelques minutes provoquant une poussée d'érythème qui aurait, au début, demandé beaucoup plus de temps pour se produire.

Pour constituer l'état pathologique qui nous occupe, il a fallu de nombreuses et fréquentes séances de radiographie. Une fois cet état acquis, il peut être entretenu indéfiniment sans aggravation, par quelques expositions rares et espacées. J'ai eu tout dernièrement l'occasion de revoir les mains d'un constructeur qui, en 1896 et 1897, fut particulièrement éprouvé par les rayons X et présenta un type complet de radiodermite chronique. Depuis lors il évite, autant qu'il peut, l'action des rayons de Röntgen, mais ne peut s'y soustraire complètement. Il estime que, deux ou trois fois par semaine, ses mains sont touchées par les rayons X et veille avec soin à ce qu'elles soient le plus loin possible des ampoules. Or, l'état de ses mains a très peu varié depuis trois ans. Leur épiderme reste toujours épaissi, sec, fendillé, rugueux, squameux.Les ongles sont encore minces, striés, décollés, cassants. La seule différence qui se puisse constater avec l'état du début, c'est que les tissus sous-dermiques semblent avoir repris leur consistance normale. La peau glisse plus facilement sur eux ; le gonflement des phalanges et des articulations a disparu. Il n'y a plus de raideur ni de gêne des mouvements.

Il n'y a d'autre traitement de la radiodermite chronique que la suppression de la cause. Il faut cesser complètement d'approcher sa main d'ampoules en fonctionnement. Ce n'est qu'à ce prix que j'ai vu, en deux ou trois mois, se guérir complètement des mains sérieusement atteintes. Aucun pansement, aucun topique local ne semble avoir la moindre influence sur la marche de l'affection.

Au lieu de supprimer absolument l'usage de la radiographie, on peut aussi, et c'est ce que, pour ma part, j'ai fait avec succès, chercher à protéger les mains. J'avais d'abord fait faire des gants recouverts d'une lame de plomb. C'est très incommode, et puis, rapidement le plomb se déchire au niveau des articulations, qu'il faudrait cependant plus particulièrement protéger. J'ai obtenu un bien meilleur résultat en employant des gants d'escrime dont le crin avait été remplaeé par du fil de laiton très fin. La protection ainsi obtenue est suffisante si on prend soin de ne plus exposer ses mains trop longtemps et de trop près aux radiations.

La guérison s'effectue par un retour lent, très lent, durant plusieurs mois, en arrière ; peu à peu, la peau repasse dans l'ordre inverse par les étapes qu'elle a parcourues, jusqu'à la restitution intégrale.

§ 4. — **Anatomie pathologique.**

Kaposi, étudiant la pathogénie de l'épilation par les rayons X, dit qu'ils agissent surtout sur les couches profondes de la peau, qui sont les premières

hyperémiées. Au bout de quelques jours, cette hyperémie devient superficielle. Les vaisseaux des follicules pileux se dilatent à leur tour et leurs parois laissent se faire une transsudation séreuse qui dissout l'épiderme entourant le poil, lequel finit par tomber. S'il n'y a qu'une exposition, tout rentre peu à peu dans l'ordre, les vaisseaux reprennent leur tonicité et le poil repousse.

Zemann, Unna, Darier, qui ont fait des examens histologiques de lambeaux de peau à une période plus avancée de la radiodermite, alors que les lésions sont constituées, sont arrivés à des résultats différents. Voici les conclusions du travail de Darier.

Les poils qui tombent sont transformés en poils à bulbe plein, sans atrophie très notable de leur portion bulbaire.

La peau alopécique offre des lésions énormes de l'épiderme et des follicules pileux ; le derme et les voies circulatoires ne semblent pas notablement atteints. L'épaississement de l'épiderme dans toutes ses couches, l'augmentation colossale de l'éléïdine (kératohyaline), ainsi que l'atrophie extraordinairement marquée des follicules peuvent être envisagés comme résultant d'un processus de réaction contre un irritant d'une intensité peu commune et pour ainsi dire sans analogues ; cet irritant paraît exalter la vitalité des éléments épidermiques les moins différenciés, ou tout au moins différenciés dans le sens de la protection directe, sans produire aucune nécrose même partielle de ces éléments. Les éléments différenciés dans le sens des productions annexielles (glandes, poils, ongles) entrent au contraire en régression et s'atrophient, sans qu'on puisse saisir le mécanisme intime de cette atrophie (nécrose, trouble vasculaire, oblitération, etc.).

En résumé, voici ce qu'on constate du côté de l'épiderme : Épaississement énorme de toutes ses couches par augmentation du nombre et du diamètre des éléments cellulaires. Envahissement des cellules de Malpighi et des cellules granuleuses par des grains d'éléïdine, atrophie des follicules pilosébacés. L'examen du derme montre une accumulation de pigment dans les couches superficielles du chorion ; une tuméfaction des fibres collogènes, qui présentent une dégénérescence basophile partielle ; des cellules plus nombreuses, une augmentation des fibres conjonctives et élastiques autour des follicules pileux rétractés et atrophiés. Les vaisseaux sanguins, les ramicules nerveux semblent normaux, dit Darier.

Tout cela est évidemment bien peu de chose et on ne voit pas comment des lésions de si peu d'importance, capables seulement d'expliquer la radiodermite chronique, aboutissent aux troubles graves de la radiodermite aiguë. Gassmann a constaté des altérations surtout vasculaires trouvées aussi par Schooltz qui n'a pu voir sur des tissus altérés à différentes périodes par les rayons X que des lésions d'inflammation et de régression ordinaires. Guido Sala a publié, au congrès de Berne, un travail sur ce sujet. Chez 7 animaux présentant des lésions de radiodermite légère, il n'a trouvé qu'une fois des altérations des centres nerveux. Il est regrettable que l'examen histologique du système nerveux n'ait pas été pratiqué par l'auteur

dans les cas précisément où il a observé des paraplégies, mais seulement chez des animaux ayant présenté de l'épilation et des altérations superficielles.

Rodet et Bertin-Sans, étudiant des moelles de cobayes surexposées aux rayons X, y ont trouvé des altérations de méningo-myélite très intéressantes, portant sur les régions de la moelle qui répondaient aux régions cutanées intéressées. Ils ont constaté de l'épaississement, des adhérences des méninges, de la congestion médullaire, de l'hyperplasie cellulaire, et même de petits foyers hémorragiques qui expliquent bien les paraplégies comme celles que nous avions observées, et qui viennent appuyer d'un argument anatomique probable la théorie des lésions d'origine nerveuse que nous soutenions déjà en 1898, Barthélemy et moi.

§ 5. — **Lésions produites par les corps radioactifs.**

Malgré la nouveauté du sujet et le peu de renseignements que nous avons sur ce qui le concerne, nous devons ici dire quelques mots des lésions produites par les substances radioactives.

On sait ce que sont ces corps dont les propriétés ont été découvertes et étudiées par M. Becquerel pour les sels d'uranium ; qui ont été trouvées par M. Schmitt pour les sels de thorium ; et dont la recherche a amené M. et Mme Curie a découvrir dans la pechblende le polonium et le radium. L'actinium a été trouvé par M. Debierne.

Quel que soit l'intérêt de la question, nous ne pouvons entrer ici dans de longs détails sur ces nouveaux métaux; disons cependant que leurs sels émettent spontanément, sans l'intervention d'aucun agent physique, des radiations de nature assez complexe, composées en partie de rayons cathodiques et en partie de rayons X, jouissant absolument des mêmes propriétés que ceux qui prennent naissance dans une ampoule de Crookes. Leur radioactivité varie dans des proportions énormes, suivant la nature des sels et leur purification (1). Ainsi l'activité de l'uranium métallique étant prise pour unité, un mélange à parties égales de chlorures de barium et de radium a une activité de 800.000 ; et M. Curie a pu préparer un échantillon de quelques décigrammes de radium presque pur dont la radioactivité est encore bien supérieure à celle-là.

En octobre 1900 (*Photographische Rundschau*), Walkhoff publia une note disant qu'à la suite d'application de matières radioactives il eut un érythème qu'il compare à celui de Röntgen. Giesel, en décembre 1900 (*Deutsche*

(1) Mon éminent ami Gustave Le Bon a le premier émis, il y a quelques années, l'hypothèse que cette propriété n'était pas spéciale aux substances énumérées plus haut, mais était, pour ainsi dire, l'expression particulière, et sous une forme particulièrement énergique, d'une loi générale que tous les corps étaient plus ou moins radioactifs. Presque tous les savants tendent de plus en plus à se rallier à cette opinion.

chem. Gesellschaft), dit qu'ayant tenu pendant deux heures, à la face interne de son bras, une capsule de celluloïd contenant 0,27 de bromure de barium et de radium, il vit apparaître, au bout de quelques jours, un érythème qui, pendant deux à trois semaines, se fonça de plus en plus, se pigmenta et mit longtemps à disparaître.

Au commencement de l'année 1901, M. Becquerel ayant gardé dans la poche de son gilet, pendant deux heures environ, quelques décigrammes de substances très actives enfermées dans un tube de verre scellé à la lampe, vit, quinze jours plus tard, apparaître sur sa paroi abdominale, en face de la poche du gilet, un érythème qui se fonça peu à peu, puis s'ulcéra lentement. Cette ulcération mit un temps très long à se cicatriser, mais ne fut à aucun moment douloureuse. Au début de la période d'érythème de cette première lésion, une seconde, de même nature, se produisit pour la même cause dans le voisinage de la première, mais ne dépassa pas la période d'érythème.

M. Curie ayant conservé pendant dix heures, sur son bras, quelques décigrammes de substances radioactives enfermées dans une enveloppe de gutta-percha, constata de suite un érythème, qui ensuite pâlit, pour reparaître de nouveau et ensuite s'ulcérer. Enfin, Mme Curie, pour avoir gardé dans sa main, pendant une demi-heure, une substance radioactive très énergique, scellée dans un tube de verre contenu lui-même dans une boîte métallique, vit apparaître, quinze jours après l'action des rayons, un érythème foncé, puis une grosse phlyctène pleine de sérosité trouble. La cicatrisation s'en fit assez rapidement.

Ayant eu l'occasion de voir les lésions de MM. Becquerel et Curie, j'ai pu constater leur analogie absolue avec les radiodermites de Röntgen. En juin 1901, les lésions de M. Becquerel étaient entourées d'une zone de pigmentation foncée ; la première présentait à son centre une cicatrice blanche, nacrée, ayant l'apparence festonée en carte géographique que nous avons décrite.

Même aspect à cette époque pour la plaie de M. Curie, mais ici la ressemblance est encore plus frappante, car j'ai pu voir la lésion passer de la troisième à la quatrième période. Le 28 mai, deux mois après la cause novice, elle présentait à son centre une ulcération irrégulière, de la dimension d'une pièce de cinquante centimes environ, à surface granuleuse et bourgeonnante, semblant en bonne voie de réparation. La cicatrice autour était blanche, nacrée, entourée d'une auréole rouge à bord externe pigmenté, sans douleurs spontanées, mais douloureuse au toucher. La guérison semblait n'être plus l'affaire que de quelques jours. Or, le 1er juin, quatre jours après ce premier examen, la partie bourgeonnante se piquetait de taches d'un brun jaunâtre, et prenait, en quelques jours, l'aspect d'une escarre épaisse. Il fallut encore près de six mois pour que l'escarre se détachât et que la cicatrisation soit complète.

Un autre point aussi intéressant à signaler est celui-ci : quand M. Curie, ces années dernières, passait de longues heures à manier des substances de

radioactivité faible, il constata un épaississement de son épiderme palmaire, une sécheressse, une altération de la peau qui peuvent absolument se comparer aux radiodermites des opérateurs.

L'action des substances radioactives est fonction de leur pureté et de la durée du temps d'exposition, et cela crée pour la pratique radiothérapique une sérieuse difficulté. Si, en effet, la substance employée est d'activité médiocre, les rayons X ne traversent pas le tube de verre dans lequel elle est enfermée. J'ai, il y a trois ans, gardé pendant trois semaines, sur mon avant-bras, un tube contenant 0 gr. 50 de substances radioactives faibles sans avoir pu observer le moindre érythème. Si, pour éviter cela, on les enferme dans des capsules de celluloïd ou de gutta-percha, au bout de peu de temps, les rayons émis rendent cette enveloppe fragile et cassante, et on risque de perdre une substance d'un prix très élevé. Il faut donc employer des échantillons d'activité assez grande pour qu'ils émettent des rayons qui puissent traverser le verre ; et leur valeur se chiffre actuellement par des milliers de francs le gramme.

La profondeur et l'acuité des lésions sont aussi, avons-nous dit, proportionnées aux temps de pose. M. Danlos a, récemment, présenté à la Société de dermatologie, un malade atteint de lupus, sur les mains duquel il avait fait des applications de substances radioactives. Il constata pour 20 heures un érythème simple léger; pour 40 heures, un érythème foncé; à 60 et 80 heures, des ulcérations superficielles assez rapidement guéries et ayant remplacé les surfaces lupiques par des cicatrices de bonne apparence et, enfin, pour 120 heures, des ulcérations profondes de radiodermite grave. Il y a là aussi en pratique une difficulté sérieuse, car il n'y a pas deux échantillons de substance radioactive qui se ressemblent, et si on sait au bout de combien d'heures d'application tel échantillon doit produire une ulcération, cela pourra ne pas être vrai du tout pour un échantillon voisin, en apparence semblable au premier.

Quoi qu'il en soit de ces difficultés inhérentes aux débuts d'une méthode, ces recherches ne présentent pas moins un grand intérêt, car si nous arrivons à produire ainsi des radiodermites par l'application simple d'une substance chimique d'énergie inépuisable et dont l'activité peut présenter tous les intermédiaires entre 1 et 800.000, on peut espérer pouvoir un jour en doser l'action thérapeutique, et avoir une arme puissante dans les mains.

§ 6. — **Causes et mécanisme des radiodermites.**

Les accidents de radiographie sont-ils dus à l'électricité ou aux rayons eux-mêmes ?

Les deux opinions ont leurs partisans. Quant à nous, nous nous rangerons absolument et sans restriction au nombre de ceux qui voient dans les radiations de Röntgen elles-mêmes, à l'exclusion de toute action électrique

la cause des lésions observées. Les partisans de l'origine électrique des accidents nous disent : Quand une ampoule de Crookes est en fonctionnement, on perçoit très nettement en en approchant la main une sorte de vibration toute spéciale de la peau due aux décharges latérales de la bobine qui ne passent pas dans l'intérieur du tube ; ces décharges se communiquent au patient placé trop près du tube, ainsi qu'on peut s'en assurer en touchant un point quelconque de sa peau d'où on tire de petites étincelles visibles dans l'obscurité ; de là des séries de charges et décharges alternatives des tissus, qui en ébranlent, en modifient la vitalité au point de les altérer profondément. La gravité de ces lésions, ajoute-t-on, est proportionnelle à l'intensité du courant primaire, on ne les observe jamais avec la machine statique, rarement avec les accumulateurs, plus souvent si on emploie les grandes intensités et les hauts potentiels des stations centrales d'électricité, pour actionner les tubes.

Plus une ampoule est résistante, c'est-à-dire plus il passe autour d'elle de décharges latérales, plus on est exposé à voir apparaître des lésions. On sait, nous dit-on aussi, qu'un champ électrique décroît autour de son centre d'émission en raison inverse du carré de la distance, et que la possibilité des accidents dans son rapport avec la distance de l'ampoule à la peau suit à peu près la même loi. On a prétendu que si les accidents se produisent toujours en face de l'anticathode, c'est parce que c'est à ce niveau que les téguments sont le plus rapprochés de l'ampoule, et que si on place le tube de façon que la zone obscure qui ne donne pas de rayons X soit la plus rapprochée du derme, on a quand même des lésions cutanées ; on a même affirmé que l'interposition d'un écran de plomb entre la peau et l'ampoule n'avait pas empêché des lésions de se produire.

Oui, il est vrai qu'on a autour d'une ampoule de Crookes en fonctionnement un champ électrostatique oscillant assez intense quand l'ampoule est résistante, et quand le courant qui l'actionne est produit par une source électrique puissante ; il est vrai aussi que ces séries de charges et décharges électriques rapides peuvent, chez des sujets particulièrement nerveux et impressionnables, produire des sensations générales désagréables. Il me souvient entre autres d'un jeune homme chez lequel il fut impossible de continuer des tentatives de radiothérapie à cause de l'insomnie constante pendant la nuit qui suivait la séance. Tous ceux qui font de l'électrothérapie ont rencontré des malades, rares il est vrai, chez lesquels les courants alternatifs produisaient les mêmes effets. Mais voilà tout ce dont on peut incriminer l'électricité. Je ne crois même pas qu'on puisse l'accuser des vomissements que l'on voit quelquefois, ainsi que nous l'avons dit, suivre une séance de rayons X.

Nous savons en effet ce que fait, ce que peut faire l'électricité sous toutes ses formes, et celle qui est en cause ici n'a pour nous rien de mystérieux, nous la manions tous les jours très longuement et à de bien autres intensités avec nos courants de haute fréquence ou nos effluves de résonance,

quelquefois, les premières séances sont suivies d'un peu d'énervement pouvant aller jusqu'à l'insomnie, mais jamais nous ne lui avons vu provoquer de vomissements, jamais non plus la moindre lésion cutanée, la moindre brûlure ou escarre. Je pourrais à cet égard citer ma propre observation. Lors de la découverte de Röntgen, depuis trois ans, j'avais construit mon résonateur, et vivais plusieurs heures par jour dans un champ électrostatique bien autrement intense que celui qui entoure un tube de Crookes, sans jamais avoir observé sur mes mains autre chose que des troubles de circulation capillaire tout différents des lésions dues aux rayons X.

Pendant les deux années qui suivirent l'apparition de la radiographie, je m'occupai très activement de cette science nouvelle, et vis peu à peu mes mains prendre l'aspect caractéristique des lésions chroniques des rayons X, mon derme s'épaissir, mes ongles se fendiller, mon épiderme se desquamer, etc. Depuis plus d'un an le nombre des médecins s'occupant de radiographie a beaucoup augmenté, je n'ai que bien plus rarement l'occasion d'exposer mes mains aux rayons X, tandis qu'au contraire je vis de plus en plus dans le champ électrostatique de résonateurs beaucoup plus puissants que ceux que j'avais autrefois; et, malgré cela, les téguments de mes mains reprennent peu à peu l'apparence qu'ils avaient avant que je fisse des rayons X.

Quand on nous dit que l'intensité des lésions dues aux rayons X est proportionnelle à l'intensité du courant électrique et qu'on n'en a jamais avec les machines statiques, nous répondons que cela n'est vrai qu'avec les machines statiques faibles, dont la production de rayons X est bien moins intense qu'avec les bobines de Ruhmkorff, et que dès lors il n'est pas étonnant qu'on ait moins d'accidents. L'énergie disponible et transformable en rayons X est relativement très faible dans les machines statiques, avec lesquelles on n'arrive que difficilement à rougir l'anticathode d'un tube de Crookes. Quant à l'affirmation qu'on n'a pas d'accidents avec les accumulateurs, nous la révoquons en doute : on n'a pas d'accidents quand on emploie peu d'accumulateurs ; oui, je le veux bien, mais c'est parce qu'aussi ici on fait peu de rayons X. Si on augmente le nombre des accumulateurs de façon à avoir une intensité lumineuse équivalente à celle que donnent les stations centrales d'électricité on aura tout autant d'accidents qu'avec eux. Et d'ailleurs ne savons-nous pas que l'on a observé le plus d'accidents pendant les deux années qui ont suivi la découverte de Röntgen, alors qu'on n'avait couramment que de petites bobines donnant 15 ou 20 centimètres d'étincelles, l'industrie ne fournissant pas encore les puissants transformateurs d'aujourd'hui; or, ces petites bobines auraient été brûlées par les courants des stations centrales, et c'est avec des accumulateurs qu'on les actionnait ; le grand nombre total des accidents était dû à ce que les sources de rayons X étant imparfaites, il fallait des poses extrêmement longues.

L'affirmation, sur la foi de laquelle nous vivions, que plus une ampoule est résistante, plus il passe de courant autour d'elle, plus les chances d'acci-

dents sont grandes, est complètement détruite par les expériences si intéressantes de Robert Kienböck. Ces expériences furent entreprises après une série d'accidents que je crois utile de rapporter ici en raison de leur importance au point de vue qui nous occupe.

« Entre le milieu de novembre 1899 et le 17 mars 1900, dit Kienböck, je traitai selon la méthode usuelle quatre patients qui souffraient de différentes affections au visage, avec un même tube à vide non réglable, qui, dans un cas précédent de sycocis, avait amené la chute des poils après 37 séances. Les malades furent soumis à des expériences presque quotidiennes, que je pensais continuer jusqu'à l'apparition d'une réaction. Les séances duraient en moyenne 15 minutes, la distance du miroir Röntgen à la peau étant de 20 à 25 centimètres. La bobine d'induction donnant 45 centimètres d'étincelles était actionnée par le courant de la ville, d'une tension de 110 volts, avec un interrupteur à turbine. Le courant induit produit répondait à une longueur d'étincelle de 30 centimètres et plus. L'ampoule était déjà résistante au commencement de ces traitements et produisait des desquamations très lentes. Ainsi l'un des patients perdit ses cheveux autour du foyer de la maladie dix jours après la trente-sixième séance, 18 décembre 1899.

« Après une interruption passagère les expériences furent continuées, et cependant ses cheveux se remirent à pousser et étaient très visibles le 2 mars, malgré la reprise du traitement. Chez un autre patient la peau avait bruni et les cheveux étaient très clairsemés en décembre, et cependant la desquamation ne fit plus aucun progrès pendant les trois mois suivants que fut continué le traitement. Pendant ce temps le tube était devenu de plus en plus dur et ne donnait plus de lumière Röntgen que par intermittences, les étincelles passant le plus souvent en dehors du tube. Le 17 mars 1900, trois des individus avaient déjà subi plus de 80 séances chacun, et nous étions sur le point de nous décourager quand une étincelle creva le tube, et je dus poursuivre le traitement des quatre patients avec un nouveau tube. Celui-ci était à réglage automatique, envoyant d'une façon régulière des rayons X intenses et riches en contrastes ; il devait être rangé plutôt parmi les tubes mous et il passait très peu d'électricité autour de lui. Le 18 mars un nouveau patient fut avec les quatre autres soumis au traitement avec ce nouveau tube.

« A peu près en même temps, du 29 mars au 3 avril, les cinq patients présentèrent des phénomènes d'inflammation aiguë dans la région du visage soumise aux rayons X ; cela fut si inattendu, si soudain, qu'on fut obligé du jour au lendemain d'interrompre tout traitement. La réaction s'accentua pendant les deux semaines qui suivirent, les malades présentèrent de l'exfoliation, du suintement, des ulcérations qui ultérieurement se cicatrisèrent peu à peu. Au lieu du traitement que je croyais avoir encore à poursuivre longtemps, tous les patients traités furent deux semaines après l'emploi d'un *bon* tube subitement atteints d'inflammations graves de la peau.

« Cela démontre avec une précision parfaite que, contrairement à l'opi-

nion répandue, un tube dur qui émet de fortes décharges électriques, et seulement quelques rares rayons X d'un fort pouvoir de pénétration, est presque sans action, tandis qu'un tube relativement faible a une action considérable.

« Plus tard, ajoute Kienböck, en avril 1900, j'eus à soigner, pour l'épiler, une jeune fille atteinte de teigne faveuse de toute la tête ; j'éclairai le côté droit pendant trois séances avec le tube faible mentionné plus haut, et pendant trois autres séances le côté gauche avec un tube qui envoyait presque autant de rayons X, mais d'un pouvoir de pénétration bien plus grand, parce qu'il était plus résistant. Au bout d'environ deux semaines tous les cheveux du côté droit tombèrent, tandis qu'une épilation très imparfaite se montrait plus tard sur le côté gauche.

« Exposant plusieurs lapins sur un des flancs à un tube très fort qui n'envoyait presque pas de rayons X, mais par contre donnait de bruyantes décharges électriques, sur l'autre flanc je fis agir pendant le même temps un très bon tube assez faible. Le résultat répondit à mon attente : le tube dur n'amena la chute des poils chez aucun des animaux ; le tube mou, au contraire, produisit chez tous la dermatite Röntgen avec alopécie étendue et complète.

« En interposant entre la peau et le tube un écran de plomb percé d'un trou, ou un carré de plomb simple de quelques centimètres de côté, après une exposition d'une demi-heure à 15 centimètres de la peau, on a, quinze jours après, dans le premier cas, une lésion limitée, dans le second une lésion étendue avec surface indemne répondant exactement toutes les deux comme forme et dimensions à la projection des rayons partant du foyer du miroir anticathodique ; ce qui ne se serait pas produit si la cause nocive avait été une zone électrique enveloppant tout le tube.

« Si enfin on place au-dessus de la peau un tube disposé de telle sorte que le plan du miroir anticathodique soit perpendiculaire à la surface du derme, la dermatite ne se produit que dans la partie éclairée par l'hémisphère brillant ; derrière le miroir, le tube est obscur, et la place répondant à cette région est indemne ; les deux régions sont séparées par une ligne très nette répondant à l'intersection du plan du miroir avec la peau. Les décharges électriques ne s'arrêtent cependant pas à cette ligne, mais se répandent également à toute la surface de la peau, tandis que la dermatite ne se produit que dans la partie éclairée par les rayons X. »

Nous avons reproduit intégralement une partie de cet intéressant mémoire parce qu'il nous semble ne pas laisser grande place au doute et élucider à peu près complètement la question, si on admet, comme on doit le faire, qu'un champ électrostatique dont le tube serait le centre est formé par des oscillations concentriques se propageant dans tous les sens. Certains auteurs ont pourtant parlé ici de décharges directes se propageant en droite ligne, comme le feraient les effluves d'une machine statique ou d'un appareil de haute fréquence pour venir perpendiculairement, partant de l'am-

poule, frapper les points de la peau les plus rapprochés d'elle. Mais ces décharges directes, comme dans tous les cas où elles se produisent en électricité, on les verrait, et si même, prenant ici une forme toute spéciale, on ne les voyait pas, il leur serait impossible de traverser des écrans métalliques reliés à la terre, pas plus d'ailleurs à elles qu'à des oscillations concentriques.

Ne connaissant pas alors le travail de Kienbock, ayant comme lui cru d'abord que l'électricité pouvait intervenir dans la production des lésions ; ayant comme lui encore été frappé par l'action tout particulièrement nocive des tubes peu résistants, j'ai, pour élucider cette question, entrepris quelques expériences qui m'ont aussi amené à cette conviction absolue que l'électricité n'est pour rien dans les dermatites de Röntgen, et pour cela je me suis servi de différents écrans interposés entre l'ampoule et la peau.

Les écrans de substances isolantes, celluloïd, ébonite, ne diminuent en rien les lésions produites par une exposition aux rayons X. Si elle a été suffisante pour provoquer un léger érythème, il est absolument de même valeur au-dessous de ces écrans que dans les régions voisines. Or l'ébonite et le celluloïd sont complètement transparents pour les rayons X. On pourrait, il est vrai, au point de vue électrique, leur reprocher de ne rien arrêter, parce qu'ils agissent comme condensateurs. Oui, mais un écran en verre, formant lui aussi condensateur, mais plus opaque aux rayons X, diminue beaucoup l'intensité de l'érythème sous-jacent.

Si on interpose entre le tube et la peau un écran métallique relié à la terre par un fil fin, on voit que la lésion est absolument proportionnelle comme intensité à la transparence du métal pour les rayons X. Une lame mince d'aluminium, presque intégralement traversée par les rayons X, laisse l'érythème se produire au-dessous d'elle comme si elle n'existait pas.

Au lieu d'une lame d'aluminium prenons une lame de plomb de mêmes dimension et épaisseur, nous aurons un écran parfait pour les rayons X, et absolument équivalent à l'aluminium au point de vue électrique. Nous voyons l'érythème ménager complètement la peau sous-jacente à l'écran, dont les bords seront marqués par une ligne bien nette, reproduisant même la projection de légères inégalités dans la section du métal.

Nous avons fait river l'une à l'autre, par un de leurs bords, deux feuilles de métal de 8 centimètres carrés chacune, l'une en aluminium, l'autre en plomb, de même épaisseur. Ces deux lames de métal formaient au point de vue électrique un écran parfait et continu ; et il ne viendra à l'idée de personne que dans ces conditions l'électricité puisse se comporter différemment pour une de ses moitiés que pour l'autre. Ceci, d'ailleurs, nous l'avons vérifié en plaçant derrière elles un électroscope à feuilles d'or ou un électromètre capillaire de Lippmann, instrument dont on connaît l'exquise sensibilité, et en les criblant avec l'effluve statique d'une puissante machine, ou d'un résonateur de haute fréquence, en plaçant tout contre leur face opposée à l'électromètre un tube de Röntgen en action, jamais nous n'avons observé la moindre

oscillation de la colonne de mercure, ou des feuilles d'or, à condition que l'écran métallique soit relié à la terre. Si, après s'être ainsi assuré de l'impénétrabilité absolue de cette surface métallique pour l'électricité, on l'interpose entre le flanc d'un lapin et une bonne ampoule de Crookes laissée en marche pendant une demi-heure à 15 centimètres de la peau, quinze jours après apparaît l'épilation, puis une dermite violente qui siège exactement au-dessous de la moitié de l'écran en aluminium, le plomb ayant complètement préservé les régions sous-jacentes de toute espèce de lésion. Celle-ci s'était même étendue assez loin au delà des limites de l'écran. Quand, quinze autres jours après, la lésion a été complète, tout le flanc de l'animal était violemment enflammé, rouge, suintant, sauf sur une surface carrée, absolument régulière, ayant 8 centimètres et demi de côté répondant exactement à la projection de la plaque de plomb et ne présentant pas trace d'altération cutanée.

J'insiste tout particulièrement sur la nécessité, quand on se sert d'écrans de cette nature, de les relier à la terre ; sinon ils agissent comme des capacités, chargées par le courant et se déchargeant, par leurs bords, sur la peau si celle-ci en est trop rapprochée. Cette décharge se produit sous forme de petites étincelles assez douloureuses par leur succession sur les mêmes points, et suivies immédiatement après la séance par un certain érythème. La grande vulnérabilité des tissus exposés aux rayons X peut même faire qu'ultérieurement ce soit au niveau de cette ligne d'érythème que commence la dermite röntgénique, et non, comme on l'a dit, parce qu'en ces points il y aurait des rayons X plus nombreux réfléchis par les bords de la plaque. La préservation des tissus ainsi recouverts d'une lame de plomb est si parfaite que j'ai, pour les recherches dont j'ai parlé plus haut, à propos de la pigmentation, exposé pendant une heure et demie la face d'un sujet, à quelques centimètres d'un excellent tube, sans pouvoir observer, grâce à l'interposition d'une grande feuille de plomb, la moindre irritation de la peau ; tandis qu'au contraire on s'exposerait à de graves mécomptes en demandant cette préservation à une feuille d'aluminium même relativement épaisse, ainsi que cela a été affirmé et proposé.

Je disais en commençant ce chapitre que jamais on ne voyait l'électricité produire de lésions comparables à celles qui suivent l'emploi des rayons X. Cela est vrai d'une façon absolue pour toutes les formes d'électricité agissant à distance comme l'effluve électrostatique ou l'effluve de haute fréquence ; et c'est seulement à ces formes d'énergie que pourrait être comparé un tube de Crookes en fonctionnement. Les coups de soleil électriques qui suivent l'exposition du derme à une lampe à arc sont chose toute différente. Autour d'un puissant foyer de lumière électrique il n'y a pas trace d'électricité libre, et les lésions apparaissant immédiatement ou dans les heures qui suivent l'accident sont absolument comparables au coup de soleil. Érythème violent, démangeaisons, rougeur légère, et, quelques jours plus tard, desquamation, tout se borne à cela. Ici c'est la lumière, et plus particulièrement les rayons chimiques violets et ultra-violets qui sont les agents

actifs, comme l'ont bien démontré les travaux de Finsen ; la disposition de son appareil éliminant toutes les radiations en deçà du bleu, et les résultats thérapeutiques étant exactement les mêmes avec la lumière électrique qu'avec la lumière solaire.

D'autres brûlures peuvent être produites par l'arc électrique et être beaucoup plus profondes que les précédentes : ce sont celles qui suivent le contact médiat ou immédiat avec l'arc. Mais ici c'est la chaleur rayonnante qui intervient. L'arc électrique, le four électrique n'agissent pas autrement que ne le ferait un métal quelconque incandescent, ou un ardent foyer calorifique. Les brûlures sont comparables à toutes les autres, peuvent être du 1er, du 2e ou du 3e degré ; nous n'avons à nous y arrêter ici que pour faire remarquer que, dans leur production, peuvent intervenir à la fois les deux agents nocifs lumière et chaleur, mais non pas électricité.

Les lésions dues à la fulguration sont aussi des brûlures superficielles ou profondes suivant l'intensité de l'éclair vulnérant et suivant que le patient l'a reçu directement ou a été frappé par une étincelle dérivée. A côté de l'énorme tension, à peu près la même pour tous les coups de foudre, intervient aussi évidemment l'intensité, un éclair pouvant être beaucoup plus chaud qu'un autre et provoquer des lésions plus profondes. De ceci encore nous n'avons pas à nous occuper.

Mais il est une forme de brûlure due à l'électricité qui a beaucoup plus d'analogie avec l'escarre radiographique, c'est celle qui suit la chimicaustie positive des tissus. Si on fait passer un courant continu énergique de tension suffisante par un point quelconque des téguments, on voit se produire au pôle positif une escarre noire, dure, parcheminée, adhérente, ne s'accompagnant pas de fièvre ni de réaction locale, tant qu'elle n'est pas exposée à des infections ultérieures, et mettant un temps très long à s'éliminer. Tels sont les caractères communs à cette escarre et à celle qui est provoquée par les rayons X. Elle est due à la destruction des tissus par l'afflux des acides de l'organisme au pôle positif par électrolyse. Mais elle se produit immédiatement pendant l'application du courant, dont l'action entraîne une douleur vive. C'est une brûlure acide et voilà tout, sans rien de mystérieux, pour la production de laquelle est nécessaire un courant continu intense appliqué directement sur les tissus, conditions absolument opposées à celles qui existent autour d'un tube de Crookes, dans le voisinage duquel on a un champ alternatif de haute tension et d'intensité très faible agissant à distance.

Tout ce qu'on peut dire à propos de ces brûlures, c'est que l'escarre de Röntgen est comparable comme aspect à une brûlure par des acides, quelle qu'en soit la cause.

Si nous cherchons à formuler une hypothèse non pas sur la cause, mais sur le mécanisme de ces lésions, nous croyons qu'il faut nous rappeler ce que nous savons de l'action biochimique des rayons de courte longueur d'onde. Comme l'ultra-violet, les rayons de Röntgen impressionnent la plaque photographique,

excitent les corps phosphorescents ou fluorescents, déchargent l'électroscope, etc. Nous savons, d'autre part, que les rayons violets et ultra-violets ont une action irritante spéciale sur l'épiderme, le pigmentant par une exposition chronique prolongée, produisant, par une action aiguë de l'érythème, des phlyctènes, de la desquamation. Pigmentation, phlyctènes, desquamation, ce sont aussi les premières lésions que nous observons après les rayons X : donc mêmes actions physiques et chimiques, même genre de lésions épidermiques. Seulement, les rayons ultra-violets ne traversent pas l'épiderme, qui présente déjà pour eux une certaine opacité ; ils sont complètement absorbés par la couche la plus superficielle du derme ; tandis que les rayons X, grâce à leur longueur d'onde bien plus courte, d'ordre de grandeur atomique, vont agir beaucoup plus profondément, ne modifiant pas seulement la vitalité des cellules les plus superficielles, mais allant chercher, pour les détruire, dans les couches profondes du derme et des tissus souscutanés, les bulbes pileux, les cellules conjonctives, et surtout les si délicates et si fragiles terminaisons des nerfs.

Sur quels éléments porte l'action nocive des rayons X et par quel mécanisme peut-on l'expliquer ? Ici et pour répondre à cette question, les hypothèses les plus hasardées ont été formulées. Tesla en propose deux. Ce n'est pas, dit-il, les rayons X eux-mêmes qui interviennent, c'est l'ozone formé sous leur influence qui agirait d'autant plus que la chaleur et l'humidité de la peau seraient plus grandes. A cette action, dit le même auteur, vient s'ajouter le bombardement des tissus par des atomes métalliques arrachés aux électrodes, et surtout aux électrodes en aluminium. A ceci nous répondrons d'abord que l'ampoule de Crookes ne produit pas d'ozone. Celui qui est formé autour d'un ensemble d'appareils radiographiques vient des effluves qui s'échappent des fils, et non du tube lui-même; d'autre part, l'action de l'ozone sur les tissus vivants a été suffisamment étudiée et est assez connue pour qu'il soit inutile d'insister. Jamais il ne produit de lésions comparables de près ou de loin à celle des rayons X.

Quant à la désagrégation des électrodes, elle est insignifiante sur les ampoules à anticathodes de platine, et le métal désagrégé ne dépasse pas les limites internes de l'ampoule ; il ne traverse pas le verre. Des observations et des contrôles très précis ont prouvé que la diminution du poids des électrodes, même après des séances longues et répétées, était insensible. Le poids de l'ampoule elle-même, dans son ensemble, ne change pas. La face interne du verre se colore en gris ou en violet, suivant que l'anticathode est en cuivre ou en platine, après un long fonctionnement; et l'examen au microscope de ce dépôt montre qu'il est formé de particules infiniment ténues, mais toutes fixées à la face interne du verre. En admettant même que ce bombardement moléculaire métallique existe, il ne peut avoir aucune action nocive. Je l'ai étudié avec l'effluve de résonance dans des conditions où il se produit avec une relativement grande intensité. Les électrodes perdent rapidement de leur poids, les parcelles métalliques entraînées sont incrustées

dans la peau, où des coupes histologiques permettent de les voir facilement logées surtout dans les couches profondes de l'épiderme. Pensant que cette sorte de tatouage métallique pouvait jouer un certain rôle thérapeutique, surtout dans le traitement des dermatoses, je l'ai étudié avec différents métaux : aluminium, cuivre, amalgames, jamais je ne lui ai vu amener aucune lésion comparable à celles que produisent les rayons X (*Soc. d'électrothérapie*, mars 1894).

Une hypothèse plus séduisante est celle qui a été proposée par Ch.-Ed. Guillaume.

On sait que la théorie des ondulations, qui fait des rayons X, des oscillations transversales de l'éther de très courte longueur d'onde, est de plus en plus contestée par les physiciens, qui tendent à se rallier à l'hypothèse de J.-J. Thompson dérivée de la théorie de l'émission de Crookes. Les rayons X seraient des corpuscules négatifs arrachés à leur orbe de gravitation autour de l'atome positif et véhiculant des charges électriques énormes relativement à leurs dimensions.

On peut supposer, dit Guillaume, que le bombardement des cellules vivantes par ces corpuscules négatifs modifie leur potentiel statique moléculaire, change la forme de gravitation de leurs atomes et arrive ainsi en dernière analyse à produire leur nécrobiose.

Quoi qu'il en soit, sur quels éléments les rayons X semblent-ils porter plus particulièrement leur action destructive ? Agissent-ils, comme on l'a dit, sur les capillaires ? Occasionnent-ils des spasmes locaux, des anémies aiguës, des congestions passives, des thromboses partielles amenant ensuite la mort des tissus voisins ? Cette hypothèse ne tient pas devant les observations de lésions tardives se produisant des semaines ou des mois après l'exposition aux rayons X, sans que rien pendant ce long intervalle ait pu les faire prévoir, la peau et les tissus sous-jacents ayant absolument leur consistance et leur apparence normales, sans différences de coloration, sans troubles de sensibilité, sans œdèmes.

Une autre explication qui a été proposée est celle-ci : La cellule vivante est tuée par coagulation de son albumine. Or, les rayons X ne sont pas ou ne sont que très faiblement microbicides. Il y aurait donc des cellules dont ils coaguleraient l'albumine, et d'autres pas. Et puis ici encore comment expliquer les lésions tardives, celles qui se produisent plusieurs mois après l'exposition aux rayons ? Dans ce long intervalle de temps tous les éléments cellulaires ont dû être remplacés par d'autres ; et quand un agent physique, agissant directement sur la cellule, comme la chaleur ou le froid, en amène la destruction, celle-ci est immédiate.

La marche lente des accidents, leur apparition tardive, quelquefois même très lointaine, me semble devoir éliminer toutes les explications basées sur une altération directe des tissus.

En 1897, dans un travail publié au congrès de Moscou, en collaboration avec MM. Barthélemy et Darier, nous concluions que les accidents cutanés

dus aux rayons X pourraient bien ne pas être primitifs, mais dus à une dégénérescence secondaire portant sur les nerfs trophiques de la région. L'action immédiate des rayons porterait sur les cellules nerveuses sous-cutanées, serait suivie d'une irritation ascendante des fibres nerveuses continuant ces cellules, puis d'une névrite centrifuge se traduisant en dernière analyse par la mortification des tissus.

Si nous avions, il y a quelques années, eu à examiner des mains analogues à celles d'un opérateur exposé chroniquement aux rayons X, en présence de ces altérations de la peau et des ongles, de cet épaississement du périoste, de cette chute des poils, de ces tremblements, nous aurions pensé de suite à des lésions de nutrition nerveuse, centrale ou périphérique, comme ou le fait en présence d'un cas de lèpre, d'acromégalie, de maladie de Raynaud.

Et ce ne sont pas seulement ces lésions chroniques dont l'analogie d'aspect est très grande avec des dystrophies nerveuses ; si on voulait chercher à quoi comparer les altérations cutanées des radiodermites aiguës, c'est aux névrites trophonévrotiques, au zona, aux sclérodermies en plaques, que l'on songerait, et, à un degré plus avancé, les ulcérations étendues sans tendance à la cicatrisation, les vastes pertes de substance, les larges escarres adhérentes feraient penser aux lésions du décubitus acutus ou du mal perforant.

Comment expliquer autrement que par l'intervention d'une névrite secondaire des cas comme celui d'Apostoli, où, plus d'un an après les accidents, une large cicatrice se sphacèle, s'ulcère de nouveau et reproduit, sans que soit intervenu le moindre traumatisme récent, toute la série des accidents primitifs ? Comment expliquer surtout les accidents tardifs comme ceux dont j'ai parlé plus haut, et qui n'étaient précédés par aucun symptôme local pouvant faire prévoir ces désordres graves ? Que se passe-t-il d'ailleurs, dans les cas communs ? La lésion suit une marche constante. La rougeur superficielle du second jour reste stationnaire huit à quinze jours, puis seulement alors apparaissent quelques vésicules, puis des phlyctènes; celles-ci s'ulcèrent, et c'est seulement de quinze jours à un mois après l'exposition aux rayons que l'on se rend compte de la profondeur des lésions, que l'on voit les tissus se mortifier sur une grande épaisseur, et souvent bien plus longtemps après se font, autour de la première lésion, de nouvelles pertes de substance que rien ne faisait prévoir.

Il est bien difficile de ne pas être frappé par l'identité de cette marche avec celle de certaines névrites périphériques suivant, par exemple, un traumatisme ; c'est quinze jours, un mois, plus longtemps même, après la cause occasionnelle qu'on voit paraître la lésion cutanée présentant tant de ressemblance avec celles que nous étudions ici. Il est vrai qu'ici on n'a que rarement signalé l'anesthésie ou l'atrophie musculaire comme après un traumatisme nerveux suivi de trophonévrose, mais dans ce dernier cas la cause nocive : section, écrasement du nerf, porte sur tout le faisceau de

ses fibres, nutritives, motrices ou sensitives. Ne pouvons-nous admettre ici une sorte de systématisation de l'irritation primitive agissant surtout sur les terminaisons trophiques sous-épidermiques, sur le réseau sympathique qui préside à la nutrition ?

Les fibres sensitives ne restent d'ailleurs pas non plus indemnes ; on n a pas d'anesthésies, mais on a des douleurs souvent d'une violence extrême, qui ne sont pas limitées à la région ulcérée, et même s'étendent très loin d'elle, dans le département nerveux dont une partie a été touchée par les rayons. J'ai observé une malade qui, présentant une lésion de la région inguino-crurale, se plaignit longtemps de douleurs vives dans la zone innervée par le nerf musculo-cutané interne, toute la face interne de la moitié supérieure de la cuisse ne pouvait supporter le moindre frôlement, les douleurs se propageaient jusqu'à la face postérieure du membre et à la fesse, qui n'avaient cependant pu être touchées directement par les rayons Les observations de ce genre sont d'ailleurs aujourd'hui nombreuses. On connaît le cas de Sorel, qui constate une ulcération de la jambe en même temps qu'une plaie de l'épigastre, en face duquel l'ampoule était placée. Je rappellerai encore ici l'histoire de ce cobaye sur lequel nous faisions, le docteur Barthélemy et moi, des recherches expérimentales, et chez lequel se produisit une paraplégie. Bertin-Sans et Rodet ont présenté, au Congrès de médecine interne de Montpellier, des moelles de cobayes présentant les mêmes phénomènes et sur lesquelles s'observaient des altérations anatomiques de méningo-miélyte.

Briaux et Morat ont publié, à la Société des sciences médicales de Lyon, en mai 1897, les résultats d'expériences dont l'importance nous semble très grande pour le sujet qui nous occupe. Ce sont des observations de troubles trophiques consécutifs à la section des racines postérieures des nerfs lombaires. Chez trois chiens auxquels on avait fait subir entre le ganglion et l'attache médullaire de la racine la section des deux dernières paires lombaires et de la première racine d'un côté, il est survenu, *deux mois après cette section*, des troubles trophiques se traduisant, sur les pattes des chiens, par des ulcérations analogues à celles du mal perforant, par la chute des poils, etc. Le rapport de la lésion des racines postérieures et de ces troubles trophiques est évident, disent les auteurs, puisque la section isolée des racines antérieures symétriques ne s'est accompagnée d'aucun trouble. L'intégrité du ganglion spinal et celle du nerf sensitif n'empêchent pas l'ulcération. On peut considérer comme possible que la moelle envoie des nerfs présidant aux fonctions de nutrition de la peau.

En résumé, à notre avis, ce sont les rayons X seuls qui interviennent, à l'exclusion de toute action électrique, pour produire les lésions radiologiques.

Ils agissent sur l'épiderme comme les rayons chimiques du spectre; les lésions qu'ils y provoquent sont comparables au coup de soleil ou à la dermatite de Finsen.

Mais, doués d'un pouvoir de pénétration que n'ont pas les rayons allant du bleu à l'ultra-violet, leur action dépasse l'épiderme, qui arrête ces dernières radiations; ils vont produire, sur les tissus sous-jacents à l'épiderme, une irritation qui porte surtout sur les cellules nerveuses, et, plus particulièrement, sur celles du réseau trophique périphérique. Cette irritation se propage aux fibres ascendantes; elle est d'abord centripète pendant la période que l'on pourrait appeler d'incubation des accidents, pour devenir ensuite centrifuge pendant la période d'état de la lésion.

§ 7. — **Comment peut-on éviter les radiodermites ?**

Sommes-nous aujourd'hui suffisamment fixés sur les causes des radiodermites, pour espérer éviter à l'avenir, dans une très large mesure, et rendre infiniment rares ces accidents ? Nous croyons que oui. Et pour cela nous devons réduire le problème à ses éléments vrais, en éliminant tous les facteurs accessoires auxquels on a voulu faire jouer un rôle plus ou moins important.

Et d'abord, existe-t-il une idiosyncrasie spéciale prédisposant certaines peaux aux accidents de radiodermite ? On a beaucoup joué de l'idiosyncrasie dans les relations d'accidents dus aux rayons X. C'était, en somme, alors que nous ne savions trop sur quel terrain nous marchions, un procédé commode pour faire retomber sur le patient une partie de nos responsabilités ; et, en général, l'idiosyncrasie est un peu une revanche pas très scientifique ni très honnête du médecin contre le malade, qui, si souvent, nous accuse des méfaits de sa maladie.

Nous avons, le docteur Barthélemy et moi, fait de longues recherches à cet égard. Nous avons choisi les sujets le plus dissemblables possible comme constitution, tempérament, structure et couleur de la peau ou des poils, et nous les avons soumis à des séances de radiographie aussi semblables que possible les unes avec les autres ; et ces expériences, trop longues à rapporter ici, en partie d'ailleurs déjà publiées, nous ont amenés à cette conviction qu'il n'existait pas de sujets plus vulnérables que d'autres. Tout ce qu'on peut dire c'est que, de deux sujets frappés au même degré par les rayons X, le moins résistant, le plus faible, fera peut-être une lésion un peu plus longue à guérir que l'autre.

Ce que nous avons déjà vu à propos des symptômes, c'est que les peaux en mauvais état, enflammées, ulcérées antérieurement, sont plus vulnérables que les peaux saines; et qu'on voit volontiers les radiodermites commencer au niveau d'anciennes solutions de continuité de l'épiderme ; mais ce ne sont pas là des idiosyncrasies mystérieuses, ce sont des choses parfaitement appréciables pour le médecin et qui doivent le faire redoubler de précautions. Nous savons aussi, après le chapitre précédent, que la source d'électricité ni les écrans interposés ne peuvent jouer aucun rôle dans la genèse des accidents.

Il n'existe, en réalité, que trois éléments intéressants à connaître comme facteurs des radiodermites :

1° La source de rayons X, le nombre et la nature des rayons qu'elle émet;

2° La distance de cette source à la peau;

3° La durée de l'exposition.

1° Plus une ampoule est riche en rayons, plus grandes sont avec elle les chances d'accidents. Mais ici il nous faut nécessairement entrer dans quelques détails.

On sait que le rendement d'une ampoule est proportionnel : d'une part, à son degré de vide, et, d'autre part, à la tension et à l'intensité du courant qui la traverse. Si nous supposons ce courant constant et que nous ayons affaire à une ampoule non régénérable, comme les tubes bianodiques ordinaires du commerce, nous savons que très rapidement, sous l'influence du passage du courant, le vide de cette ampoule va se modifier et qu'elle va passer successivement par différents états que Röntgen a qualifiés par les épithètes d'ampoule molle et dure. Strater, étudiant les ampoules au point de vue qui nous occupe ici, a subdivisé ces deux grandes classes en sous-ordres parfaitement légitimés par les faits, et admet des ampoules très molles, molles, demi-molles, demi-dures, dures et très dures; en se basant, pour cette classification, sur l'aspect que donne la main examinée à l'écran avec ces différents tubes, le premier montrant des tissus mous très noirs à peine différenciés des os; le dernier montrant à peine les os, qui sont presque transparents, l'ampoule molle ou demi-dure étant celle qui fournit les images les plus nettes, les plus riches en contrastes, celle qui donne les meilleures radiographies. C'est aussi cette ampoule qui n'a pas encore besoin d'être chauffée pour entrer en fonctions, dont l'anticathode rougit assez facilement, dont le verre présente une belle fluorescence très brillante et uniforme, sans les stries ou les taches vertes isolées que donnent les ampoules plus dures; c'est elle qui causera les radiodermites les plus graves. C'est elle qui est la plus riche en rayons X de grande pénétrabilité.

L'ampoule plus molle, à exposition et à distance égales, produira seulement des lésions superficielles n'intéressant que l'épiderme, tandis qu'au contraire l'ampoule très dure ne provoquera plus de radiodermites. Les rayons de la première, très peu pénétrants, ne dépassent guère les couches superficielles du derme. Ceux de la dernière sont peu abondants et traversent tous les tissus sans les léser. On dirait que la vulnérabilité maxima des rayons s'exerce non pas sur les tissus qu'ils traversent, mais sur ceux dans lesquels ils s'amortissent.

Nous avons eu de cela, Barthélemy et moi, une démonstration presque mathématique. Nous avions choisi 12 malades présentant des affections utérines ou péri-utérines anciennes, et avions décidé de provoquer chez ces femmes des radiodermites superficielles dont nous voulions essayer l'action curative révulsive. Nous les séparâmes en 4 séries de 3 ma-

lades ; chaque série fut exposée le même jour pendant 15 minutes à 15 centimètres d'une ampoule bianodique à vide non réglable. Ces séances furent faites de deux en deux jours. La source d'électricité était le secteur, dont le courant était ramené au primaire à 30 volts et 6 ampères. Le transformateur était une bobine donnant 50 centimètres d'étincelles ; l'interrupteur, du genre Foucault, fournissait en moyenne 30 alternances par seconde.

Le premier jour, l'ampoule était molle répondant à 2 centimètres d'étincelle équivalente. A la fin du quatrième jour, elle était devenue très dure, répondant à 25 centimètres d'étincelle équivalente, et, pour la dernière malade, il fallut la chauffer à différentes reprises, pour pouvoir terminer la séance.

Notre première malade ne présenta pas la moindre lésion. La deuxième et la troisième eurent un léger érythème ; la quatrième et la cinquième, des phlyctènes, des vésicules, une épilation complète. Les quatre suivantes, des radiodermites aiguës profondes, beaucoup plus graves que nous n'avions voulu les produire. La onzième n'eut qu'une épilation totale, et la douzième aucune lésion.

Ces faits nous semblent suffisamment démonstratifs pour que nous n'insistions pas davantage et que nous affirmions qu'une ampoule est d'autant plus nocive que son degré de vide la rend molle ou demi-dure.

Quel rôle jouent, d'autre part, les constantes du courant qui la traverse ? Ici il nous est beaucoup plus difficile de préciser quoi que ce soit. Nous savons bien qu'entre le rendement d'une petite bobine actionnée par quelques accumulateurs et un transformateur puissant donnant 50 centimètres d'étincelles avec le secteur à 110 volts, il y a des différences énormes dans la quantité de rayons X produits. Mais dans quelle mesure interviennent les éléments de tension et de quantité, c'est ce que nous ne pouvons juger qu'approximativement. Nous pouvons bien supposer qu'une bobine à induit très long et très fin donnera des rayons différents de ceux d'un induit court et gros, mais ce n'est qu'une hypothèse.

Si nous voulons, et je crois que c'est le but à atteindre, uniformiser nos conditions d'expérimentation, il serait à désirer que les constructeurs nous fournissent des instruments dont ils feraient connaître les éléments de construction. Pour ce qui est de l'intensité du courant, le degré du rouge de l'anticathode et l'étincelle équivalente nous fournissent des éléments de comparaison d'une réelle valeur et sur lesquels nous aurons à revenir tout à l'heure.

Quant au nombre des interruptions, je ne crois pas qu'il ait une importance aussi grande qu'on serait, à priori, tenté de l'admettre. Plus les interruptions deviennent rapides, moins facilement peut se désaimanter le noyau magnétique de la bobine, dont le régime moyen varie entre des limites peu étendues.

2° La profondeur et la gravité des lésions sont proportionnelles aux temps de pose, toutes autres choses étant égales d'ailleurs. Ceci, tout le monde le

sait. Mais nous en avons eu la démonstration absolue par les observations de M. Danlos avec les substances radioactives La source de rayons X était constante, la distance à la peau constante, la profondeur des lésions a été absolument proportionnelle aux temps d'exposition. Il en est de même avec les radiations de l'ampoule de Crookes. Cinq ou six minutes d'exposition auprès d'un bon tube donneront seulement un peu d'érythème, de pigmentation ; ou quelques démangeaisons ; en quatre ou cinq fois le même temps on aura une radiodermite grave. J'ai dernièrement exposé pendant 10 minutes, à 10 centimètres d'un bon tube, la patte d'un cobaye et n'ai eu qu'un érythème léger et passager. La même ampoule, dans les mêmes conditions, agissant pendant 20 minutes, a donné à un autre cobaye une radiodermite profonde.

Une chose utile aussi à faire remarquer à ce propos, c'est que l'action nocive de séances de radiothérapie séparées par un certain intervalle de temps ne s'additionne pas. Cinq séances quotidiennes de cinq minutes ne produiront aucune lésion, une séance de 25 minutes aura des suites graves. Ceci je l'ai expérimenté maintes fois. C'est pour cela que je crois que, quand dans le cours d'un traitement radiothérapique apparaissent brusquement les symptômes de la radiodermite aiguë profonde, c'est une ou deux des séances qu'il faut incriminer, pendant laquelle les conditions moyennes habituelles ont été brusquement changées, soit par le remplacement d'une ampoule par une autre, soit pour toute autre raison, et non l'ensemble même du traitement. La longueur de l'intervalle qui sépare les séances n'est pas non plus un facteur négligeable. Dans le cours d'un traitement radiothérapique j'ai vu survenir de l'érythème pour trois séances quotidiennes, les autres facteurs restant identiques, chez un malade qui supportait depuis longtemps sans la moindre réaction trois séances par semaine.

3° Tout le monde aussi sait que la distance qui sépare l'ampoule du patient joue un rôle considérable dans la gravité des lésions produites.

Les rayons de Röntgen s'amortissant rapidement dans l'air, leur intensité semble suivre à peu près la loi de la raison inverse du carré des distances. Donc le danger croîtra dans une proportion géométrique au fur et à mesure qu'on se rapprochera de la source des rayons X.

Ceci posé, pour éviter la radiodermite en radiothérapie (nous ne parlons pas de la radiographie, pour laquelle le raccourcissement extrême du temps de pose rend maintenant les accidents presque impossibles), nous n'avons que ces trois facteurs à considérer : rendement de l'ampoule, — distance à la peau, — temps de pose.

L'une quelconque des trois causes, les deux autres étant constantes, peut provoquer une radiodermite qui présentera les mêmes caractères cliniques, soit pour une pose trop longue, soit pour une ampoule trop puissante, soit pour une distance trop courte. Or, quand nous faisons de la radiothérapie, nous cherchons à provoquer une irritation spéciale des tissus qui côtoie les accidents tout en restant en deçà d'eux, c'est-à-dire que les conditions les

meilleures seront remplies si nous employons le maximum d'énergie active possible sans dépasser ce qu'on pourrait appeler la dose thérapeutique. Pour avoir l'énergie maxima, prenons une ampoule aussi riche que possible en rayons X et plaçons-la aussi près que possible de la peau, et dosons par les temps de pose, que nous rendrons suffisament courts pour ne pas courir des risques d'accidents. Non seulement nous devons avoir une ampoule très riche en rayons, mais encore nous devons nous servir toujours d'ampoules amenées au même degré de vide et ayant un rendement constant, c'est-à-dire que nous ne devons employer que des ampoules à vide réglable, et nous donnons de beaucoup la préférence aux osmorégulateurs, dont le maniement est très souple et qu'on peut faire varier dans de larges proportions.

Pour juger du pouvoir de pénétration des rayons, nous avons des instruments relativement précis, très suffisants tout au moins dans la pratique. Celui qui nous semble approcher le plus près de la solution du problème est le dernier venu, le radiochromomètre de Benoist. Cet instrument se compose d'un disque d'argent pur, autour duquel sont disposés 12 segments de circonférence en aluminium d'épaisseur graduellement croissante : le premier ayant 2 millimètres, le deuxième 3, le douzième 13. Si on interpose cet instrument entre une ampoule et un écran, la plaque centrale donne une ombre qui sert pour ainsi dire d'unité et à laquelle on compare les ombres de plus en plus opaques que donnent les segments d'aluminium. Si c'est, par exemple, le segment 7 dont l'ombre est équivalente à celle de l'argent, nous dirons que nos rayons ont un pouvoir de pénétration égal à 7.

Si en même temps nous avons monté en dérivation dans le circuit un mesureur d'étincelles, nous saurons rapidement que tel numéro du radiochromomètre répond à telle longueur d'étincelle équivalente.

Ainsi, par exemple, avec la machine statique dont je me sers habituellement, je sais qu'une ampoule molle donnant à l'écran des ombres foncées mais très nettes répond au n° 6 du radiochromomètre et à une étincelle équivalente de 4 centimètres. Une ampoule demi-dure dont les rayons ont au radiochromomètre une pénétration de 8 répond à une étincelle équivalente de 8 centimètres. Une ampoule dure montrant les os de la main très clairs donnera 10 au radiochromomètre et 15 centimètres comme étincelle équivalente.

On peut facilement dresser, une fois pour toutes, un tableau qui permette, pour les travaux ultérieurs, de ne plus se servir que du spinthermètre, dont l'emploi est si simple et si facile.

On sait que le docteur Béclère a donné ce nom de spinthermètre à un mesureur d'étincelles composé de deux sphères métalliques, dont l'une est portée par une tige graduée en centimètres glissant dans un anneau. L'autre sphère est fixe ; le tout est supporté par deux pieds isolants. On peut ainsi, en rapprochant plus ou moins les sphères l'une de l'autre, régler la longueur de l'étincelle équivalente et la mesurer sur la graduation.

Nous avons donc une ampoule nous fournissant des rayons d'un pouvoir

de pénétration déterminé. Il s'agit maintenant d'uniformiser autant que possible le nombre de ces rayons. Or, ici intervient l'intensité de la source électrique, et rien ne semble plus difficile que de préciser des conditions telles que toutes les séances se fassent avec une même intensité pour tous les opérateurs. Dans un travail sur le même sujet publié l'an dernier, je proposais un ampérage fixe, des bobines de dimensions déterminées, des interrupteurs uniformes, etc. Tout cela est en pratique difficilement réalisable ; et je crois, aujourd'hui, que nous avons un élément d'appréciation bien plus facile à juger: c'est le degré de rouge de l'anticathode. Nous avons tous, dans le primaire de notre bobine, un rhéostat intercalé; nous en avons un pour régler la vitesse de rotation de notre machine statique; et nous savons, d'autre part, que l'anticathode rougit proportionnellement à l'intensité du courant qui traverse l'ampoule. Amenons donc avec notre rhéostat le débit de notre machine statique, ou l'intensité du courant primaire de notre bobine, à un point tel que notre anticathode atteigne un degré de rouge déterminé. Pour ma part, je vais toujours jusqu'au rouge cerise, et y maintiens mon anticathode pendant toute la durée d'une série de séances. Le degré de rouge ne peut être apprécié que quand le platine des ampoules n'est pas doublé d'une masse de cuivre, mais quand on l'a déterminé une fois pour toutes avec une ampoule ainsi construite, on sait à quel point du rhéostat il faut se placer pour réaliser la même intensité.

Ceci posé, et pour que les rayons ainsi produits aient sur la peau l'action la plus puissante possible, rapprochons autant que nous le pourrons notre ampoule des téguments; rapprochons-la jusqu'au point minimum où nous ne pourrons pas avoir d'étincelle dérivée frappant notre malade, et où le cône de rayons X produits couvrira toute la surface à traiter. Dans presque tous les cas, avec une ampoule molle, qui est surtout à recommander, puisqu'elle est la plus riche en rayons X, on peut s'approcher de la peau d'environ 5 centimètres, et on sera sûr ainsi d'utiliser autant qu'on le peut l'énergie produite.

Mais nécessairement, dans ces conditions, il faut réduire à l'extrême les temps de pose et les compter par secondes et non plus par minutes, ainsi qu'on le faisait, en en augmentant progressivement la durée jusqu'à un maximum de 4 à 5 minutes, qu'on ne devra jamais dépasser.

Voici comment je procède habituellement. Je fais ma première séance de 30 secondes, la deuxième, 48 heures après, d'une minute; la troisième, aussi après 48 heures, d'une minute et demie; et je continue ainsi en augmentant d'une demi-minute tous les deux jours, jusqu'à trois minutes; arrivé là, je suspens les séances pendant 8 jours. S'il ne s'est produit le moindre symptôme d'irritation, je recommence à 3 minutes et vais progressivement jusqu'à 5, chiffre que je ne dépasse pas, jusqu'à la fin du traitement.

S'il s'est produit, à un moment donné, un peu de rougeur ou de démangeaison, je suspens les séances jusqu'à ce que ce symptôme ait complètement disparu, et quand je les reprends je ne reviens jamais au temps auquel se sont montrés ces légers symptômes, si je traite une affection superficielle;

j'y reviens au contraire lentement s'il s'agit d'une affection profonde, mais en m'arrêtant de nouveau dès que reparaît l'érythème.

En opérant ainsi, jamais je n'ai eu à regretter le moindre incident fâcheux, et j'ai obtenu, en un temps extrêmement court, des résultats thérapeutiques du plus haut intérêt, qui vont même jusqu'à me faire admettre que les rayons ont une sorte d'action élective sur les tissus morbides, les faisant disparaître sans produire la moindre irritation des tissus sains du voisinage.

Je n'ai d'ailleurs pas la prétention de poser les règles ci-dessus formulées comme des conditions *sine qua non* de succès; mais je conseille à mes confrères de les essayer, et pour ma part je crois fermement qu'elles rendent presque impossibles les radiodermites graves, comme celles qu'on a eu si souvent à déplorer.

Holzknecht, de Vienne, a fait récemment connaître un appareil auquel il donne le nom de chromoradiomètre, et qui, d'après lui, remplacerait tous les autres éléments de graduation et de mensuration des rayons X. Cet instrument est basé sur la propriété bien connue qu'ont les rayons X de colorer certains sels haloïdes; coloration qui reste permanente et dont l'intensité est proportionnelle au nombre des rayons actifs absorbés par le sel. Il se compose d'une série de petits godets en celluloïd renfermant chacun une quantité fixée de substance colorable, mais non encore colorée et présentant la même teinte grisâtre. Si l'on expose l'un de ces godets aux radiations d'une ampoule de Röntgen, peu à peu son contenu prend une coloration verdâtre de plus en plus foncée au fur et à mesure qu'il est frappé par les rayons X.

Dans le cours d'une ou de plusieurs opérations radiothérapiques (une seule doit toujours suffire, d'après l'auteur), un godet, le même pour chaque malade, doit être placé sur la peau de la région à traiter, soumis aux mêmes rayons qu'elle; et quand son contenu arrivera à une coloration donnée, répondant au but à atteindre, on arrêtera la séance. Pour juger des colorations successives que prend le godet on le compare à une échelle fixe formée par douze godets témoins semblables au premier, mais de colorations variables.

D'après Holzknecht on doit arriver avec cet appareil à une précision suffisante pour savoir exactement, que pour une épilation on doit atteindre telle coloration de l'échelle, telle autre pour avoir de l'érythème, etc.

Sans vouloir discuter ici la valeur de cette méthode, qui semble a priori séduisante, mais demande à être vérifiée par l'expérience, je lui reprocherai de ne pouvoir tenir compte de la résistance plus grande que donnent à la peau les intervalles séparant les séances. Et, d'autre part, dans le cours d'une séance, il est très difficile d'apprécier, même à deux ou trois degrés près de l'échelle d'Holzknecht, la coloration du godet, alors que les yeux sont éblouis par la luminosité de l'ampoule. Je lui reprocherai surtout que l'auteur n'ait pas fait connaître la composition de la subtance chimique qu'il emploie, que tout contrôle devienne ainsi impossible, que nous ne soyons pas sûrs d'avoir des godets toujours identiques; qu'alors nous puissions ainsi nous exposer aux plus graves mécomptes.

CHAPITRE II

RADIOTHÉRAPIE

Dès qu'on eut constaté, peu de temps après la découverte de Röntgen, que les nouveaux rayons provoquaient la chute des poils et amenaient une certaine irritation de la peau, on pensa à les utiliser dans un but thérapeutique pour épiler les hypertrichoses ou les teignes, et pour chercher, par une inflammation substitutive, à modifier les infections cutanées. D'autre part, la révélation de ce nouveau mode d'énergie, qui pouvait aller agir profondément sur les viscères, engagea à l'essayer contre des maladies profondes, comme la tuberculose pulmonaire, ou contre des affections osseuses et articulaires, échappant par leur siège même à nos moyens d'action directe.

Avant d'étudier ces différentes actions thérapeutiques, nous devons d'abord voir si elles étaient légitimées *a priori* par les recherches de laboratoire qui les accompagnèrent ou les suivirent, et pour cela commencer par résumer les travaux qui ont été faits dans ce sens.

Action biologique des rayons de Röntgen. — Presque tous les auteurs qui ont étudié l'action des rayons X sur des cultures *in vitro* sont d'accord pour reconnaître leur action nulle sur la vitalité microbienne.

Sormani expérimentant sur 16 espèces microbiennes n'a trouvé aucune atténuation des cultures. Mêmes résultats ont été obtenus par Bertin pour le bacille diphtéritique, même après soixante-seize heures d'exposition. Lortet et Genoud, Fiorentini et Luraschi, Bergonié, Féré et Mongour, Destot et Dubar, Mlle Ogus, Francis Pott, Rodet et Bertin-Sans, Achard, Beauregard et Guichard, Kümmel, n'ont trouvé aucun ralentissement des cultures, aucune atténuation des toxines du bacille de Koch.

Frantzius a fait les mêmes constatations pour la toxine rabique, Blaize pour la bactéridie charbonneuse, Sabrazès et Rivière pour le bacillus prodigiosus, etc.

A côté de ces travaux tous négatifs nous en trouvons cependant quelques-uns affirmant timidement une action de retard sur quelques microorganismes. Bonomo, après avoir constaté leur action nulle sur la plupart des

bacilles, dit qu'ils semblent retarder la sporulation et atténuer la virulence de B. anthracis. Schaudirne, expérimentant sur des protozoaires, dit que les espèces à protoplasme fin et liquide perdent au bout de quelques heures leur faculté de locomotion et tombent au fond du vase; mais les protozoaires ne sont pas des microbes. Minck dit qu'ils atténuent la virulence de quelques espèces microbiennes. Rudis Jicinsky dit qu'il n'a obtenu aucun résultat avec les autres bacilles, mais qu'avec le bacille de Koch, il a eu un résultat positif sur milieu de culture acide, négatif sur milieu alcalin, et en tire des conclusions pour une prétendue action électro-chimique des rayons X. Mais nous savons fort bien qu'il n'est pas besoin de rayons X pour arriver aux mêmes résultats, et que le bacille de la tuberculose vit mal et meurt en culture acide.

Le professeur Rieder, opérant avec des appareils particulièrement puissants et modifiés de façon à avoir un rendement constant et très élevé en rayons X, constate que certaines espèces, comme B. coli sur gélatine par exemple, ne sont pas influencées; que d'autres cultures, vibrion cholérique, staphylocoque, streptocoque, bacille typhique, bacilles de Koch sur agar, sur sérum, ou dans du bouillon sont arrêtées, et quelquefois tuées après un temps d'exposition variant d'une à dix heures, à 10 centimètres d'une ampoule très riche en rayons. Acceptons ces résultats, bien qu'opposés à tous ceux des auteurs précédents, mais reconnaissons qu'ils ne présentent qu'un intérêt purement théorique. Si on voulait s'en autoriser pour des essais thérapeutiques on aurait détruit tous les tissus pour ralentir peut-être la vitalité des microbes.

Si toutes ces recherches *in vitro* sont négatives ou à peu près, il n'en est pas tout à fait de même pour les expériences *in vivo*.

Les premières en date sont celles de Lortet et Genoud, qui, injectant sous la peau de la cuisse de cobayes des cultures de bacille de Koch, constatèrent chez les témoins des abcès locaux et du ramollissement ganglionnaire, tandis que chez les animaux exposés aux rayons X, il n'y eut pas d'abcès, et les ganglions inguinaux de petit volume tendaient à se ratatiner tous les jours; mais la marche de la tuberculose générale ne fut pas modifiée, bien que l'infection générale ait été retardée. Fiorentini et Luraschi, faisant des inoculations intrapéritonéales, arrivent aux mêmes conclusions de légère atténuation des lésions chez les animaux exposés. Mühsam, dans le même ordre d'idées, conclut que les rayons X qui influencent favorablement les tuberculoses locales sont sans action sur la tuberculose généralisée. Bergonié et Tessier, dans un travail très documenté lu au Congrès de la tuberculose de 1898, trouvent au contraire que s'il y avait une différence de survie chez les témoins et chez les animaux exposés, ce serait plutôt au détriment de ces derniers. Au même congrès, MM. Rodet et Bertin-Sans lisent aussi un travail dont les conclusions sont identiques, ces auteurs insistant même plus particulièrement sur le manque de résistance des animaux exposés aux rayons X. Leur élève, Mlle Ogus, compléta ultérieurement leur travail

et termine son mémoire par cette phrase : « Nous ne saurions trop mettre en garde contre le préjudice que l'application des rayons X a semblé porter à l'état général des animaux en expérience. » Elle a constaté comme les auteurs précédents une action défavorable sur les lésions et la nutrition générale, mais au contraire un effet favorable sur les lésions ganglionnaires, qui sont toujours notablement moindres chez les animaux en expérience que chez les témoins.

Ce qui semble résulter clairement de tous ces travaux, c'est que les rayons X présentent une sorte d'action élective sur le système ganglionnaire lymphatique. Nous avons déjà antérieurement, à propos des accidents, signalé l'absence complète d'adénopathie qui nous avait frappé au voisinage des lésions que nous avions pu observer.

Si on rapproche cela d'une observation de Sorel d'éléphantiasis guéri en trois séances de rayons X, ou si on songe que les infections tuberculeuses générales ont été plus rapides et plus étendues chez les animaux exposés, on peut se demander si les rayons de Röntgen ne suppriment pas dans une certaine mesure, ou tout au moins ne diminuent pas la barrière qu'opposent les ganglions aux infections. Des recherches dans ce sens seraient d'un haut intérêt, et, en attendant, nous nous demandons si ces faits ne devraient pas modérer le zèle des médecins qui traitent par les rayons X des épithéliomes; nous conseillons au contraire d'en essayer l'emploi contre les lymphadénomes.

Pour terminer ce qui a trait à la physiologie expérimentale, nous signalerons les travaux de Lecercle, qui a constaté chez le lapin une sorte d'inhibition de l'évaporation cutanée qui peut durer longtemps après la séance. Les recherches du même auteur sur la chaleur rayonnée de la peau ne lui ont donné aucun résultat.

W. M. Stine conclut à une stimulation violente des tissus s'accompagnant de congestion intense et d'une diapédèse active, tandis que Sabrazès et Rivière disent qu'ils ne retardent ni ne modifient en rien la diapédèse chez la grenouille, et n'ont aucune action sur le tracé de son cœur. Bordier a constaté que les rayons X ralentissent les phénomènes d'osmose.

§ 1.— **Traitement de la tuberculose.**

Après l'observation de MM. Rendu et Du Castel, qui avaient constaté une amélioration considérable chez un jeune homme soupçonné de tuberculose après un traitement par les rayons X, de nombreux essais furent tentés un peu partout, et on peut dire qu'il n'existe pas une observation de guérison confirmée; aussi semble-t-on aujourd'hui avoir abandonné ces essais thérapeutiques et depuis 1898 les observations deviennent de plus en plus rares. Aussi ne ferons-nous qu'un résumé succinct de la question.

Un certain nombre d'observations avaient été publiées prématurément.

Après une amélioration passagère, si fréquente d'ailleurs chez les tuberculeux quand on inaugure un nouveau mode de traitement quel qu'il soit, la maladie reprit rapidement son cours et eut sa terminaison funeste habituelle. C'est ainsi que la malade de MM. Du Castel et Rendu, celle de MM. Chanteboule-Descombes et Roullière, celui de M. Revillet, ont succombé peu après la publication de leurs observations, et malgré la reprise du traitement.

Chez le plus grand nombre des malades soignés on ne constata aucun changement dans la marche et les allures de l'affection. Chez quelques-uns, au contraire, après une amélioration passagère, on vit apparaître des accidents aigus de granulie qui emportèrent rapidement les malades (cas de Revillet, de Teissier et Bergonié, d'Ausset, de Potain et Serbanesco), accidents qui sont à rapprocher de ce que nous disions plus haut à propos des ganglions lymphatiques.

Nous avons publié nous-même l'observation d'un jeune homme, employé chez un constructeur, et dont le thorax était à chaque instant examiné à l'écran en raison de sa maigreur. Il portait une lésion ancienne silencieuse d'un sommet, diagnostiquée seulement par la radioscopie. Il fut brusquement emporté en quelques jours par une granulie aiguë pendant l'exposition de Bruxelles, alors que son thorax était, dans un but de démonstration, exposé bien plus souvent encore que d'habitude aux radiations.

En résumé, quand on a eu des améliorations, elles ont été passagères, pouvant être attribuées à la suggestibilité spéciale des tuberculeux ou à la révulsion violente causée par les radiodermites consécutives au traitement. Et, d'autre part, les accidents graves de tuberculose aiguë constatés de différents côtés doivent faire absolument proscrire l'emploi des rayons X dans la tuberculose pulmonaire. Nous irons même plus loin, et nous recommanderons de ne pas trop prolonger et de ne pas répéter inutilement les séances de radioscopie chez les phtisiques.

L'absence dans la littérature médicale d'observations de tuberculose ganglionnaire nous fait supposer que les résultats n'ont pas dû être brillants. si des essais ont été tentés, et qu'ils ont probablement abouti à des généralisations.

Kirmisson a donné à la Société de chirurgie un cas de tuberculose du poignet guéri après deux mois de séances quotidiennes de rayons X suivies de compression. MM. Championnière, Michaux et Bazy ont répliqué que la compression seule pouvait amener des résultats semblables, et M. Bazy a dit n'avoir jamais rien obtenu de ses essais par les rayons X. La tentative de Kirmisson a dû être renouvelée par de nombreux chirurgiens ; nous ne sachons pas que rien d'autre ait été publié dans ce sens. Dans le cas de Lancastre il n'y a pas de certitude qu'il s'agissait de tuberculose. Et chez la malade de M. Sainton, l'immobilité et la radiodermite ont pu faire tous les frais de l'amélioration.

§ 2. — Affections articulaires et osseuses.

Les rayons X semblent jouer un rôle utile dans le traitement des affections articulaires et osseuses. Tous les médecins qui se sont occupés de radiographie ont rencontré des blessés venant demander une examen ou une radiographie pour une ankylose ancienne, déclarer qu'après la séance ils avaient eu un peu moins de douleurs, ou un peu plus de liberté de mouvements.

Dans le rhumatisme articulaire aigu ils ont été essayés par Sokoloff, qui publia quatre cas de rhumatisme articulaire aigu chez des enfants soignés avec succès. Ces enfants, enveloppés dans une couverture, furent exposés pendant dix ou vingt minutes de 40 à 60 centimètres de l'ampoule. Dans le premier cas : une fillette de neuf ans avait des douleurs articulaires et de la tuméfaction des articulations des genoux, des poignets et des phalanges, qui ont disparu après deux séances. — Deuxième cas : jeune fille de quatorze ans; douleur et gonflement du genou, disparus après une séance. — Troisième cas : enfant de cinq ans; guérison, après trois séances, de douleurs et tuméfaction du genou et du cou-de-pied. — Quatrième cas : jeune fille ayant depuis cinq ans du rhumatisme chronique et de l'endocardite; une poussée nouvelle a été guérie après quatre séances.

§ 3. — Cancer.

Les premiers auteurs qui se sont occupés de la radiothérapie du cancer n'ont pas été heureux. C'est ainsi que Despeigne a publié un cas de cancer de l'estomac traité par les rayons X. Il semble avoir constaté une certaine amélioration passagère : diminution de la tumeur. Mais la maladie n'en a pas moins évolué pour arriver à la terminaison fatale. Le résultat n'a pas non plus été brillant dans un cas d'épithélioma de la langue soigné par le même auteur. Ricketts a soumis sans succès un sarcome au traitement par les rayons X. Johnson et Merill ont eu quelque amélioration dans le traitement du carcinome. Mais les cas de vraies guérisons n'ont été publiés que plus récemment.

Thor Stenbeck, un des premiers, a publié deux observations de guérison d'épithéliomas de la face accompagnées de photographies. Le traitement a duré trois mois. Les séances quotidiennes ont été accompagnées de réaction vive malgré laquelle on a continué les expositions aux rayons X. Il s'agissait de vastes lésions déjà difficilement opérables qui ont été complètement réparées, et remplacées par les cicatrices souples, élastiques, rendant presque aux tissus leur apparence normale.

Depuis lors et dans ces derniers mois, la littérature médicale étrangère nous fournit de nombreuses observations analogues se rapportant à toutes les formes de cancer ; toutes sont très encourageantes.

Les travaux de John Lée, de Williams, de Skinner, de Gibson, de Coley

sont de véritables monographies réunissant de nombreux cas accompagnés de photographies des plus suggestives. Nous ne pouvons résumer ici ces intéressants travaux ; mais de leur lecture ressort sans conteste ce fait que les rayons X sont un vrai traitement de choix des tumeurs malignes superficielles ; et non pas seulement des épithéliomas des vieillards, curables aussi par bien d'autres méthodes, mais encore des ulcérations étendues ayant déjà envahi les tissus profonds et considérées comme inopérables. Dans tous les cas, sous leur influence, on voit rapidement les douleurs diminuer et disparaître, les plaies prendre un aspect de bonne nature et se cicatriser, la cicatrice étant même tout particulièrement souple et belle d'apparence.

Williams nous dit : « Après avoir guéri quelques cas de cancer par ce nouveau traitement, je pris assez de confiance dans cette méthode pour pouvoir affirmer aux nouveaux malades qui se présentaient à moi qu'elle les guérirait sûrement si la tumeur dont ils étaient atteints était vraiment de nature cancéreuse ; si le diagnostic était douteux, je faisais des réserves. Mais j'appris bientôt par de nouvelles recherches que d'autres néoplasmes que les épitholiomas guérissent aussi par ce traitement. Aussi j'estime que nous possédons dans les rayons X un moyen curatif des plus puissants dans la plupart des tumeurs cutanées, peut-être dans toutes, exception faite pour les tumeurs syphilitiques. »

Les conclusions de Grubbe sont les mêmes. « Les rayons X, dit-il, sont le plus remarquable agent thérapeutique dans les tumeurs malignes. Ils agissent comme un irritant favorisant la phagocytose. »

Le sarcome semble aussi très heureusement modifié par les rayons X. Les observations de Allen, de Carl Beck, de Pusey, de Soiland, etc., sont très démonstratives à cet égard.

Parmi toutes ces observations, nous en relevons quelques-unes de cancers du sein inopérables, améliorés mais non guéris, et deux, une de Snow, une de Delavau de cancers du larynx, l'un guéri, l'autre amélioré.

D'après ces faits il me semble qu'on doit toujours tenter, avec toutes les précautions nécessaires pour éviter les radiodermites, de traiter par les rayons X les cancers que l'on sait a priori ne pouvoir être opérés sans récidives, soit le cancer de l'orbite, soit celui de la langue.

La technique spéciale à employer dans ces cas doit surtout tendre, s'il s'agit de cancers de la langue ou de la bouche, à isoler les parties malades de façon à éviter des brûlures de régions forcément plus rapprochées de l'ampoule. On doit y arriver relativement facilement en introduisant dans la bouche du patient un cylindre de verre épais ou de métal, contre le fond duquel vienne s'appliquer la partie malade, et muni d'un rebord en forme d'entonnoir protégeant la lèvre, un spéculum de Fergusson par exemple.

Avec la méthode des expositions courtes à courte distance, l'ouverture de la bouche avec cet instrument serait relativement facile à obtenir sans fatigue pour le patient.

§ 4. — Affections cutanées.

Jusqu'à présent et pour les différentes applications thérapeutiques que nous venons de signaler, sauf pour le cancer, les travaux sont rares, leurs résultats négatifs ou peu concluants, assez incertains pour qu'on ne soit pas autorisé à risquer des chances de radiodermites pour si peu de certitude. Maintenant nous allons marcher sur un terrain plus sûr. Les observations sont nombreuses, les travaux importants. Les méthodes prennent de la précision. Nous verrons que la technique n'est pas encore absolument fixée et qu'elle varie suivant les opérateurs; mais elle se précise de plus en plus. Les tâtonnements du début, qui avaient exposé les patients à de graves mécomptes, existent moins; et les résultats de plus en plus encourageants, avec des risques tous les jours moindres, peuvent permettre d'affirmer dès maintenant qu'on est en possession d'un agent appelé à jouer un rôle important dans la thérapeutique des affections cutanées.

C'est à l'étranger qu'il nous faut aller chercher nos renseignements, la France n'a contribué que récemment à la progression de la radiothérapie cutanée. Cela tient probablement en grande partie à la jurisprudence spéciale existant chez nous, qui assimile le médecin à un industriel, les accidents que peut causer son intervention à des accidents du travail, et qui a frappé rudement des opérateurs ayant eu à regretter des radiodermites plus fréquentes à l'étranger que chez nous, et qu'il était presque impossible d'éviter il y a quelques mois encore, alors qu'on ignorait complètement les causes vraies de ces accidents. Nous-même avons dit et répété antérieurement : « Tant qu'on ne sera pas certain des agents de la radiodermite ; tant qu'on ne saura pas avec précision l'éviter ou la produire, il sera imprudent de faire de la radiothérapie, parce que les accidents n'éclatent que longtemps après l'action nocive, alors qu'ils sont irréparables. »

Aujourd'hui il n'en est plus de même, nous avons vu et précisé la cause des accidents, nous pouvons espérer pouvoir les éviter, et nous engager sans plus d'hésitations dans la voie qui nous est tracée par les étrangers.

Épilation. — Le professeur John Daniel publia, en avril 1896, la première observation de chute des poils par les rayons X. Vingt et un jours après l'exposition d'une tête d'enfant aux rayons il vit les cheveux tomber complètement sans érythème, sans douleurs. Puis, très rapidement, d'autres cas analogues furent signalés de différents côtés. Mais les accidents de radiographie, dont le nombre devenait de plus en plus grand, le fait que l'on voyait, quelque temps après l'épilation, des poils repousser, plus drus même qu'auparavant, disions-nous nous-même d'après une observation personnelle, repousser partout où il n'y avait pas de cicatrice, disait Broca ; l'inconstance des résultats, que l'on ne savait à quoi attribuer, pour laquelle on invoquait des inconnues d'idiosyncrasie, d'état spécial de la peau, cachant

notre ignorance, tout cela détournait le plus grand nombre des médecins d'entreprendre des recherches systématiques.

Freund le premier aborda résolument le problème. Il publia d'abord une observation de nævus pigmentaire et pileux, traité et guéri par les rayons X. Peu après il présenta au congrès de Moscou un travail basé sur deux séries de recherches : dans l'une, après vingt heures d'exposition, il obtint des résultats excellents ; dans l'autre, il eut, après quarante-quatre heures de radiation, de la dermatite grave chez quelques sujets, et en conclut que c'est surtout la durée de l'exposition qui joue un rôle important. Depuis lors Freund a continué avec Schiff ses travaux sur l'épilation. D'autres auteurs, Kümmel, Kaposi, Unna, Jutassy, Gilchrist, Immerwahr, Scholtz, Muhsam, Ziemssen, etc., ont traité du même sujet. Qu'il se soit agi d'hypertrichose simple, de favus, de trichophyties, de teignes, de sycosis, c'est la méthode préconisée par Freund et Schiff qui a été mise en œuvre par les auteurs. Les séances sont courtes, répétées souvent, l'ampoule est placée assez loin de la peau, et est actionnée par un courant relativement faible, 2 ampères et 12 volts ; ampoule à 25 centimètres de la peau, séances de 10 minutes, telles sont les conditions que recommande Freund. Les séances sont quotidiennes ou se font tous les deux jours. S'il survient un léger érythème on arrête pendant quelques jours jusqu'à ce qu'il soit passé (1). Le plus souvent, en agissant ainsi, on voit au bout de 20 à 25 séances la peau se pigmenter légèrement, puis tout d'un coup commence la chute des poils, qui, en quelques jours, est totale ; cela sans rougeur, sans desquamation, sans aucun phénomène pénible ; les malades ont douté de l'efficacité du traitement jusqu'au moment où survient la chute des poils. Assez fréquemment chez les sujets bruns on voit, quelques jours avant que commence l'épilation, les poils devenir d'un blanc de neige. Les patients doivent pendant le traitement s'abstenir de toute épilation. Il est bien entendu que les parties des téguments sur lesquelles on ne veut pas agir sont protégées pendant toute la durée des séances par un masque de plomb.

Schiff insiste tout particulièrement sur la beauté des résultats obtenus au point de vue des autres altérations superficielles de la peau coexistantes à l'hypertrichose. S'il y avait en même temps de l'acné, des cicatrices d'anciennes électrolyses, tout cela disparaît pour faire place à un tégument d'intégrité parfaite.

De même aussi si l'épilation a été faite pour une teigne, un sycosis, une trichophytie, on voit peu à peu, et pendant le cours du traitement, l'état de la peau s'améliorer, de façon que, quand les poils tombent, la lésion sous-jacente a disparu. Schiff nous a montré au congrès de Paris des projections de sycosis et de teignes avant et après le traitement, montrant en effet la *restitutio ad integrum* de lésions anciennes et étendues.

(1) En employant la méthode que j'ai préconisée plus haut, l'épilation s'est produite dans tous les cas que j'ai traités entre la 12e et la 15e séance. Elle a été très simple, sans complication ni accidents.

Une fois l'épilation obtenue, tout n'est pas dit ; il faut prévoir, empêcher et prévenir la repullulation. Ici, laissons la parole à Schiff et Freund pour répondre à cette objection de repousse des poils, une des plus sérieuses qu'on ait faites à la méthode :

« Chez la plupart de nos malades nous avons pu jusqu'ici empêcher toute récidive en faisant une ou deux séances supplémentaires de quatre en quatre semaines, après la cessation complète de la chute des poils. L'importance de ces séances complémentaires résulte de ce fait que dans le cas où ce traitement supplémentaire n'a pas été fait, il y a eu récidive deux mois après la cessation des applications. Dans une autre observation la malade omit de se soumettre au jour dit à ces applications consécutives ; elle nous revient deux mois après avec une repousse manifeste. Deux courtes séances consécutives firent tomber ces poils de nouvelle formation. La malade laissa de nouveau passer le temps prescrit pour recevoir une nouvelle application. Deux séances consécutives de peu de durée la guérirent définitivement. Ces faits rendent très probable l'hypothèse qu'il suffit d'actions très légères pour maintenir l'altération du bulbe au degré voulu pour empêcher la repousse des poils. »

Quoi qu'il en soit, et même avec ces séances supplémentaires, il est bien certain que la durée totale du traitement d'une hypertrichose est bien moindre que par l'électrolyse ; et que si les risques d'accidents sont complètement supprimés, on se trouve en présence d'un traitement de choix. Cela serait vrai surtout pour le sycosis, les teignes, l'herpès tonsurant, dont la guérison survient en même temps que l'épilation.

Nous ne ferons pas un chapitre spécial pour ces différentes affections, d'abord parce que pour cela les matériaux nous manquent et ensuite parce que, d'après Schiff et Freund, la technique reste la même (1).

Acné. Furonculose. — Mme Pokitonoff, Gautier et Larat, surtout, ont au congrès de Moscou plus particulièrement insisté sur le traitement de la furonculose, dont les auteurs que nous avons cités plus haut ont aussi parlé, mais d'une façon plus accessoire.

Le malade, disent Gautier et Larat, est placé à 30 centimètres de l'ampoule; les séances quotidiennes ont une durée de cinq à six minutes. Après la sixième séance, l'effet commence à se produire, la peau pèle légèrement, l'acné pâlit, les vaisseaux sont moins apparents. On voit apparaître plus tard, entre les boutons et les plaques de couperose, des traînées blanches; enfin, les tissus se décolorent. Chez quinze malades, les avantages de cette médication se sont montrés sérieux. Depuis lors de nombreux auteurs, John Lee, Winfield, Gouven, Schmith, Schiff, Gassmann, Varney, pour ne citer que les principaux, ont confirmé ces allégations et considèrent la radiothérapie comme le traitement de choix contre l'acné, la furonculose et sur-

(1) Gastou a présenté récemment à la Société de dermatologie un certain nombre de teigneux épilés avec succès par les rayons X.

tout le sycosis, pour la guérison duquel intervient aussi pour une bonne part l'épilation.

Lupus. — Albers Schönberg est le premier qui ait publié en 1897 deux cas de lupus traité et guéri par les rayons X. Presque en même temps Schiff essaya ce traitement sur deux malades qui, après une inflammation vive de la peau, guérirent du lupus ancien. Depuis lors les travaux de Kümmel, Schiff et Freund, Kaposi, Gilchrist, de Nobele, d'Alb. Schönberg, de Schall, Hoffmann, Immerwahr, Scholefield, Phillipp Mills, Scholtz, Sonnenberg, etc., ont confirmé les résultats obtenus par les premiers observateurs.

Schiff et Freund déclarent qu'après de longues recherches sur de nombreux malades ils arrivent à cette conclusion que la radiothérapie est vraiment la méthode de choix pour le traitement des vastes ulcérations lupiques ayant envahi de grandes surfaces de peau et de muqueuse. Elle ne peut, disent-ils, être comparée à l'extirpation et à la transplantation pour de petits noyaux isolés; mais pour les lésions étendues elle est préférable à la méthode de Finsen, qui nécessite un outillage encombrant et très dispendieux, et ne permet d'attaquer que des surfaces très restreintes, tandis que la radiothérapie agit sur des parties cutanées étendues. Alors même qu'après un traitement insuffisant les malades ne sont pas complètement guéris, au moins leur état est-il considérablement amélioré, les organes intéressés ont-ils retrouvé leurs fonctions, et leur apparence est-elle sensiblement amendée.

Pour le traitement du lupus, qui demande une action plus profonde des rayons X que l'hypertrichose, il faut se servir, disent ces auteurs, d'un courant plus puissant que pour cette affection. Trois ou quatre ampères au primaire, et douze à quinze volts sont nécessaires; l'ampoule est rapprochée de la peau à 10 centimètres, et la durée des expositions est augmentée progressivement jusqu'à 15 minutes.

Toutes les variétés de lupus, même le lupus érythémateux, qui pourtant diffère tellement des autres formes, ont été traitées par les rayons X, et les résultats semblent avoir toujours été favorables. Quand on a eu, et ils n'ont pas été rares, des accidents de radiodermite aiguë, la chute des escarres et la réparation des ulcérations ont laissé à leur place des cicatrices de bonne nature, souples, élastiques, beaucoup meilleures que celles qui suivent les autres méthodes de traitement. Dans les cas ordinaires la marche des réactions a été en général celle que Schiff a décrite. On ne constate pas seulement la turgescence et l'érythème des noyaux lupiques apparents; mais on voit aussi des places, qui avaient auparavant l'apparence de tissus sains, se couvrir de plaques sombres qui prennent peu à peu les caractères des noyaux lupiques. Plus tard, les noyaux ainsi modifiés s'éliminent en donnant naissance à des pertes de substance de la grosseur d'une tête d'épingle, à bords tranchants, comme s'ils avaient été enlevés à l'emporte-pièce, et qui, plus tard, sont remplacés par des petites cicatrices d'un rouge intense, déprimées, tandis que la peau sous-jacente paraît blanche et lisse.

Kümmel place ses malades, au début du traitement, à 40 centimètres du

tube, et ne les rapproche peu à peu que quand il est sûr qu'il n'y a pas de réaction inflammatoire trop vive. Il dit éviter ainsi les radiodermites graves, comme celles qu'il eut à regretter lors de ses premiers essais, quand il exposait ses malades à 10 et même à 6 centimètres du tube. La longueur d'étincelles de sa bobine est de 40 à 50 centimètres. Il fait, par jour, deux séances de 10 à 15 minutes chacune. Un à quelques mois de traitement sont nécessaires.

L'effet heureux des rayons X sur le lupus n'est pas basé, dit-il, sur une destruction ou brûlure de la peau comme nous la produisions par la cautérisation à l'air chaud ou par un cautère thermique. Une dermatite artificielle profonde n'est nullement nécessaire au succès et doit être évitée dans la plupart des cas par une surveillance étroite et en procédant avec précaution. Une légère rougeur de la peau, comme nous la constatons quelquefois par l'action du soleil sur une peau sensible, n'est pas toujours à éviter. Elle est l'indication d'arrêter pour un petit moment le traitement. Après un peu d'expérience, on remarque déjà, avant l'apparition de cet érythème, comme premier changement, un léger hâle de la peau, à peu près comme celui que produit un séjour prolongé à la mer. Il est bientôt suivi de la dermatite indiquée par une rougeur de la peau et une légère cuisson. Quelques compresses d'eau de Goulard arrêtent assez vite cette dermatite, et permettent de continuer le traitement. Peu à peu, les ulcérations se nettoient et guérissent, les croûtes se dessèchent et tombent, les tubercules se rapetissent, la peau s'écaille, sa rougeur disparaît lentement pour faire place à une cicatrice blanche. Pour les lupus étendus, ajoute Kümmel, je ne saurais m'imaginer une méthode plus douce conservant tous les tissus qui peuvent être conservés, et qui amène une réparation rapide des ulcères en les fermant par une cicatrice blanche et lisse, ne causant pas de déformation ni de rétraction.

Les photographies des malades présentés par les auteurs qui ont traité cette question sont en effet éminemment suggestives et permettent de s'associer à leurs conclusions qu'il y a vraiment là un traitement de choix, pouvant être comparé à celui de Finsen, ayant, il est vrai, comme ce dernier, l'inconvénient de sa lenteur, mais beaucoup moins dispendieux et encombrant. L'affection à traiter présente d'ailleurs un caractère de gravité et d'incurabilité tel qu'il autorise même à courir les risques de radiodermites si la guérison doit être au bout du traitement.

Mais à propos surtout du lupus, nous désirons affirmer notre conviction que tous ces agents thérapeutiques nouveaux et récemment proposés n'ont point une action spécifique. Nous ne croyons pas que les rayons X, plus que les rayons actiniques du spectre, plus que l'effluve de résonance, jouent un rôle mystérieux et inexpliqué dans la cure de ces maladies. Leur action bactéricide, des uns comme des autres, est presque nulle ; tous, au contraire, provoquent un certain degré de réaction inflammatoire des téguments, c'est-à-dire qu'ils activent les circulations locales, favorisent la diapédèse, et

surtout exagèrent la phagocytose. De là leur rôle utile. Ils aident les tissus à se débarrasser des agents pathogènes qui les encombrent, donnant à leur vitalité diminuée le coup de fouet nécessaire pour éliminer les produits morbides et hâter un travail de réparation utile.

Nous ne voulons pas dire du tout pour cela que leur action à tous soit identique ; ce qui est identique, c'est la réaction des cellules à leur influence nocive, qui peut être utilisée dans le même but thérapeutique.

On a enregistré aussi des guérisons de lupus par le curettage, par les scarifications, par les pointes de feu, par l'air chaud ; et je ne crois pas que les opérateurs qui utilisent ces procédés aient la prétention d'atteindre tous les bacilles de Koch avec leur curette, leur scarificateur, ou leur galvano-cautère. Ils cherchent seulement à provoquer une irritation superficielle et localisée qui, quel qu'en soit le mode, excite dans les tissus un travail de défense qu'ils ne faisaient plus.

D'autres affections cutanées ont été aussi traitées par les rayons X : l'eczéma, le prurigo, le psoriasis, les nævi vasculaires. Nous-mêmes les essayons actuellement contre les tubercules lépreux. Si intéressants que puissent être ces essais ils restent trop isolés pour trouver place ici.

De même aussi j'ai omis sciemment de parler dans ce chapitre de radiothérapie de certaines applications, comme celles qui ont été tentées en oculistique, ou pour le traitement d'affections très différentes de celles que j'ai signalées ; la pleurésie, les ulcères de l'estomac, voire même les tumeurs cérébrales, les ulcères syphilitiques, les ulcères simples, la calvitie même ont été soumis aux rayons X. Pour tout cela les documents manquent absolument de précision. Il est bien certain que la radiothérapie n'a pas dit son dernier mot, et il est probable que de nouvelles applications verront le jour. Mon seul but ici, et je souhaite l'avoir atteint, a été de présenter un tableau, aussi complet que possible, de l'état actuel de la science pour ce qui concerne les accidents de radiographie et la radiothérapie.

Docteur Oudin.



Fig. 1.— Fœtus de 7 cm.

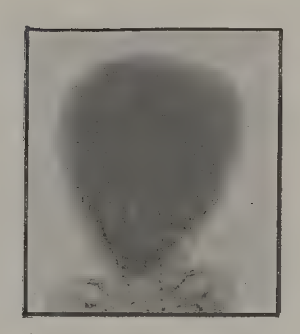


Fig. 2.— Fœtus de 9 cm. 5.



Fig. 3.— Fœtus de 4 mois : 11 cm.

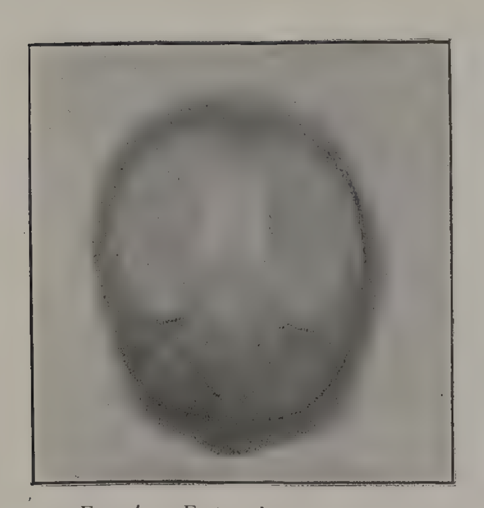


Fig. 4. — Fœtus de 19 cm.



Fig. 5. — Fœtus de 19 cm.

G. STEINHEIL, Éditeur.

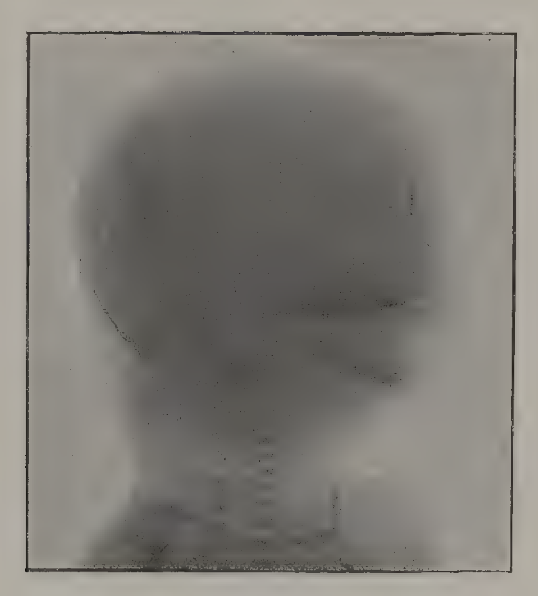


Fig. 1. — Fœtus de 5 mois : 19 cm.



Fig. 2. — Fœtus de 6 mois : 30 cm.

G. STEINHEIL, Éditeur.

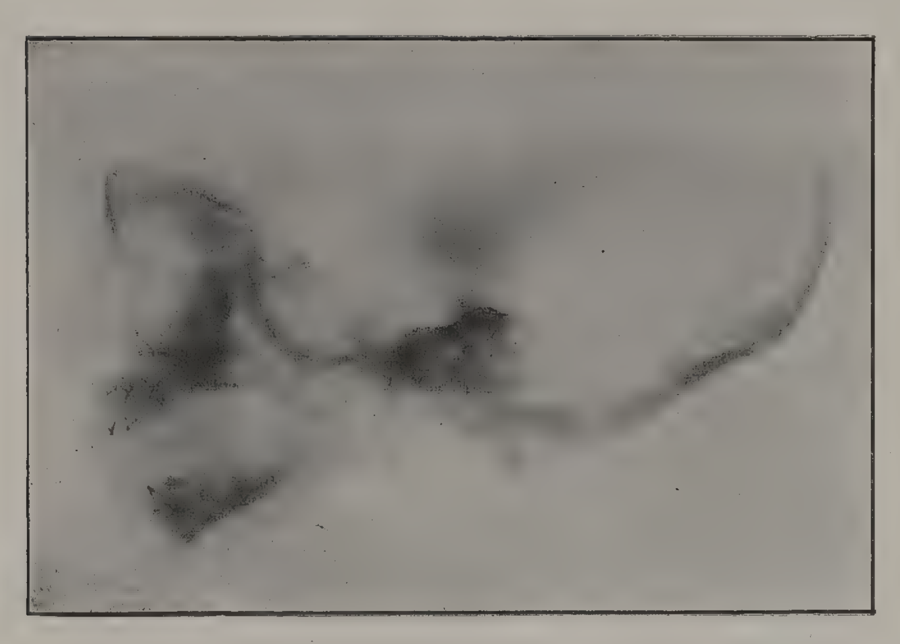


Fig. 1. — Fœtus de 7 mois.

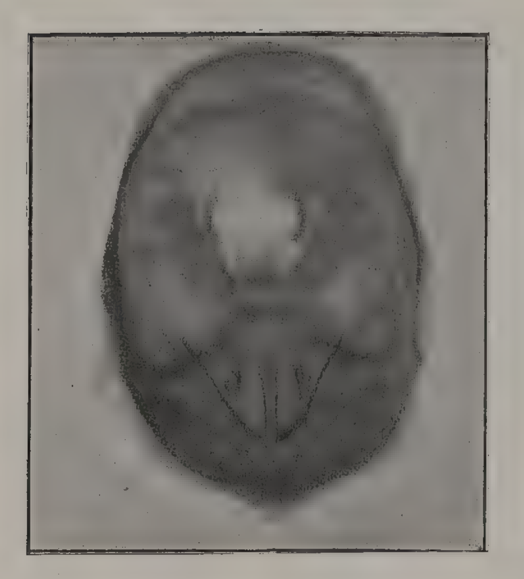


Fig. 2. — Fœtus de 25 cm.

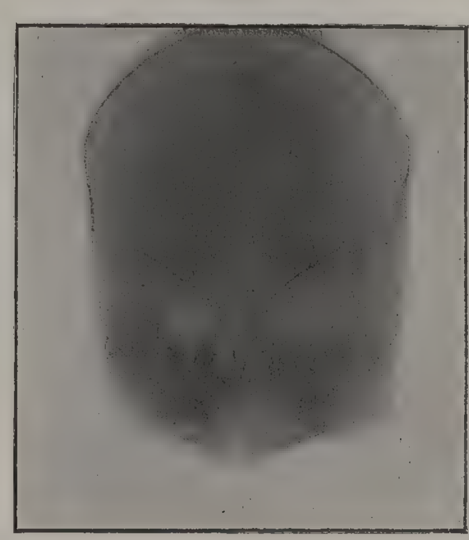
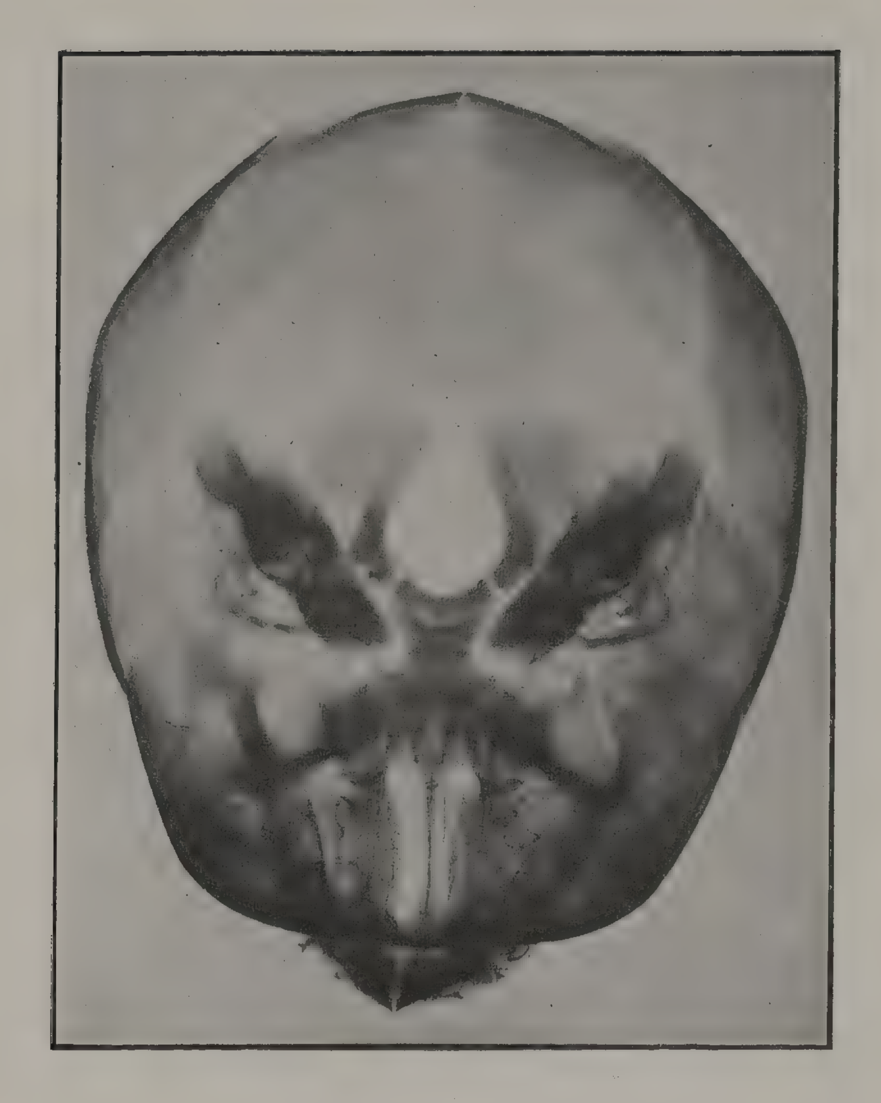


Fig. 3. — Fœtus de 25 cm.

G. STEINHEIL, Éditeur.



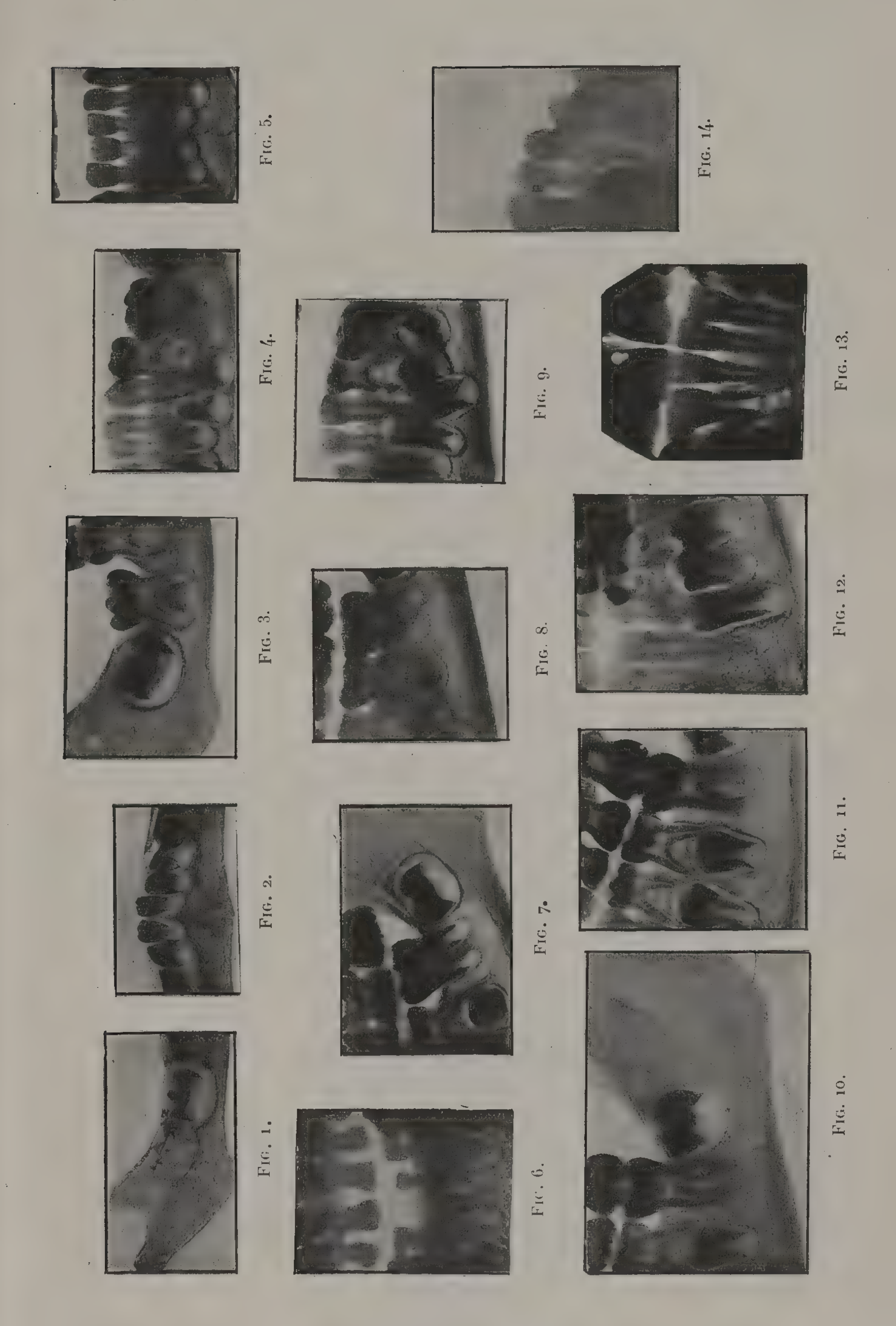
Fœtus de 8 mois.



Fig. 1. — Garçon de 8 ans.

Fig. 2. — Tête de vieille femme.

G. STEINHEIL, Éditeur.



G. STEINHEIL, Éditeur.



Fig. I.

Radiodermite profonde de la région abdominale ayant succédé à trois séances de Radiographie: 4e période.

Fig. II.

Même sujet, huit mois plus tard: 5e période. L'eschare est tombée; la cicatrisation a marché sur les bords.

a, *bourgeons charnus découverts par la chûte de l'eschare primitive,-*

TABLE DES MATIÈRES

LIVRE I

ÉTUDE GÉNÉRALE DES RAYONS X

PREMIÈRE PARTIE

Notions générales sur les sources d'électricité et les mesures électriques.

I. — Sources d'électricité.

DEUXIÈME PARTIE

Générateurs employés pratiquement pour la production des rayons X

GÉNÉRALITÉS (Bergonié).

I. — **Application des bobines à l'excitation des tubes de Crookes** (Bergonié)

CHAPITRE PREMIER. — BOBINES

CHAPITRE II. — INTERRUPTEURS

CHAPITRE III. — FONCTIONNEMENT DE LA BOBINE

CHAPITRE V. — Absorption. — Son rôle dans l'étude des radiations dont on ne peut mesurer la longueur d'onde

---

II. — **Etude des rayons cathodiques et des corps radioactifs** (Villard).

CHAPITRE PREMIER. — Rayons cathodiques

CHAPITRE II. — Les corps radioactifs

III. — **Étude des rayons X** (Sagnac).

CHAPITRE PREMIER. — Propriétés générales et propagation des rayons X

CHAPITRE II. — Rayons secondaires. — Dissémination et transformation des rayons X

CHAPITRE III. — Étude de l'absorption et des actions électriques des rayons X

CHAPITRE IV. — VITESSE DE PROPAGATION DES RAYONS X.

CHAPITRE IV. — ACTION CHIMIQUE DES RAYONS DE RÖNTGEN (Villard)

LIVRE II

LES RAYONS X APPLIQUÉS A LA MÉDECINE ET A LA CHIRURGIE

PREMIÈRE PARTIE

Partie technique.

I. — Utilisation des propriétés chimiques des rayons X en médecine. — Radioscopie et radiographie.

CHAPITRE II. — LA PLAQUE ET L'IMAGE RADIOGRAPHIQUE (Imbert-Gagnière).

II. — Technique générale des opérations radiologiques. — Méthode radioscopiques, radiographiques, stéréoscopiques et endodiascopiques.

CHAPITRE PREMIER. — TECHNIQUE OPÉRATOIRE DE LA RADIOSCOPIE ET DE LA RADIOGRAPHIE MÉDICALES ORDINAIRES (Guilleminot).

CHAPITRE II. — Technique de la stéréoscopie (Marie et Ribaut).

CHAPITRE III. — Technique opératoire de l'endodiascopie (Bouchacourt).

DEUXIÈME PARTIE

Applications de la radiologie à chaque cas particulier.

I. — Corps étrangers

CHAPITRE PREMIER. — Technique (Marie et Cluzet).

CHAPITRE II. — APPLICATIONS CLINIQUES (Marie)

II. — **Système osseux et articulations.**

CHAPITRE III. — Maladies des articulations

CHAPITRE IV. — Affections diverses des os et des articulations

---

IV. — **Le thorax en général** (Béclère).

CHAPITRE PREMIER. — Examen du thorax

CHAPITRE II. — Étude des images obtenues

V. — **Les plèvres et les poumons** (Le Noir).

CHAPITRE PREMIER. — Poumons

CHAPITRE II. — Plèvres

VI. — **Le médiastin** (Béclère).

VII. — **Le cou. — Le larynx. — Le pharynx. — La colonne cervicale** (Ruault et Mignon).

VIII. — **La tête en général. — Les dents. — La bouche. L'oreille. — Les voies respiratoires supérieures** (Scheier).

CHAPITRE III. — APPLICATIONS DES RAYONS X A CERTAINES QUESTIONS DE PHYSIOLOGIE

CHAPITRE IV. — PATHOLOGIE MÉDICALE ET CHIRURGICALE

IX. — **Ophtalmologie** (Guilloz).

CHAPITRE PREMIER. — ASPECTS RADIOGRAPHIQUES DE L'ORBITE

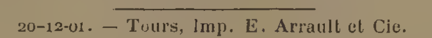
CHAPITRE III. — EMPLOI DES RAYONS X EN OPHTALMOLOGIE

X. — **L'abdomen** (Gagnière).

XI. — **Le bassin. — Radiologie obstétricale** (Fabre).



XII. — **Accidents causés par les rayons X et radiothérapie** (Oudin).



20-12-01. — Tours, Imp. E. Arrault et Cie.